



**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2017/2018**

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS NATURAIS DE  
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE CAUDAIS VARIÁVEIS  
O CASO DE ESTUDO DA “BOOMLAND”**

**BERNARDO EMANUEL MARTINS DE SOUSA**

Dissertação submetida para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

---

**Orientador académico:** Professora Maria Cristina da Costa Vila

**Coorientador académico:** Professor Joaquim Eduardo Sousa Góis

**Orientador na empresa:** Eng. Ricardo Ferreira Alves  
(Técnico de Gestão Ambiental – IdanhaCulta – Associação de desenvolvimento social, cultural, recreativo e ambiental)

*Porto, janeiro 2018*



O presente trabalho foi feito em colaboração com a associação IdanhaCulta.



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

"I want something good to die for  
To make it beautiful to live"

Go with the flow, Queens Of The Stone Age

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

# AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar, em primeiro lugar, a minha gratidão para com a associação IdanhaCulta e a todo o staff da Boomland, por me terem proporcionado oportunidade de realizar esta dissertação colaborativa, pela prestabilidade e pelo apoio que sempre mostraram, fazendo-me sentir bem-vindo e integrado.

Entre os envolvidos, gostaria de agradecer especialmente ao Eng. Ricardo Alves, meu orientador empresarial, que sempre me ajudou em tudo o que precisei, mostrando uma preocupação incessante e acima de tudo, por dar importância ao meu trabalho, motivando-me sempre a fazer o melhor possível. Agradeço-lhe pelo enorme respeito e consideração, pela orientação e pelo companheirismo nestes 5 meses.

Manifesto a minha profunda gratidão para com os meus orientadores académicos, Professora Maria Vila e Professor Joaquim Góis, pela sua orientação e disponibilidade, tendo me apoiado no que precisei. Agradeço pelo conhecimento transmitido e por me terem proporcionado esta oportunidade.

Agradeço ao Dr. Cheng pelo tempo que disponibilizou para me auxiliar, pelos conselhos e comentários vitais para o desenrolar da presente dissertação.

O meu sincero obrigado à Dra. Cristina Calheiros pelo seu tempo e disponibilidade prestados.

A todos os envolvidos no meu percurso académico na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e à própria instituição, por me terem ajudado a crescer como pessoa e estudante, e por terem fomentado em mim um orgulho enorme nesta casa e no meu curso.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos e colegas, pelo apoio e força fundamental durante estes 5 meses e pela amizade preciosa nestes 5 anos, a qual tem uma enorme importância para mim. Um enorme agradecimento ao Pedro Torres pelo apoio e ajuda incessante, pela disponibilidade nas inúmeras discussões e debates de ideias, sendo o seu contributo fulcral para alcançar os meus objetivos no presente trabalho. Um agradecimento muito especial à Mariana Aleixo, pelo apoio incondicional, por toda a sua preocupação e paciência, por todo o carinho e afeto, por estar sempre a meu lado quando necessitei.

Agradeço às minhas irmãs, Sara e Liliana, pelo apoio, preocupação, carinho e amor, por terem estado sempre do meu lado nestes 5 meses e em toda a minha vida.

O mais sincero agradecimento aos meus pais, pelo apoio e preocupação, pelo sacrifício e paciência, pelo amor e confiança. Agradeço-lhes, por tudo o que me proporcionaram, todas as oportunidades, pois devo-lhes tudo o que sou e serei na minha vida. Dedico esta dissertação e toda esta etapa académica a eles, Bernardo e Filomena.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*



## I. RESUMO

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial na Associação IdanhaCulta, com o objetivo de elaborar uma solução para o tratamento de águas residuais que sirva os usos e necessidades da Boomland, local onde são desenvolvidos vários eventos artísticos e culturais, entre os quais se destacam o Boom Festival e o Being-Gathering.

Devido aos eventos pontuais promovidos na Boomland, existe uma variação acentuada na produção de caudais de águas residuais, que se dividem em: águas cinzentas, originadas pelas atividades ligadas à restauração e chuveiros; águas negras, que se traduzem nos lixiviados das WCs compostáveis existentes. A forma atual como estas águas são tratadas não apresenta a eficiência desejada, pelo que foi necessário considerar a implementação de um novo sistema de tratamento. Para dar resposta a esta necessidade, foram considerados os sistemas naturais de tratamento de águas residuais como adequados ao caso de estudo. Dentro destes sistemas, foram abordadas as *constructed wetlands* e as lagoas de estabilização de águas residuais.

Aferida a quantidade e qualidade das águas residuais produzidas na Boomland, e a forma como variam mediante as alturas do ano e os eventos promovidos, estimou-se a produção de cerca 5250 m<sup>3</sup> de água cinzenta que, juntamente com os 150 m<sup>3</sup> de lixiviados das WCs compostáveis, perfazem um total de 5400 m<sup>3</sup> de água residual produzida nos 8 dias em que decorreu a edição de 2016 do Boom Festival. Tendo-se optado por dimensionar e implementar um sistema de tratamento por lagunagem, foram definidas as unidades que compõem as várias etapas de tratamento. Estas incluem uma etapa de tratamento preliminar, seguida de uma etapa anaeróbia, etapa facultativa e, como estágio final de tratamento, uma etapa de polimento. Procedeu-se ao dimensionamento do sistema de tratamento selecionado, admitindo dois cenários de tratamento, baseados no evento de máxima utilização, o Boom Festival: o tratamento das águas cinzentas juntamente com os lixiviados das WCs compostáveis (Cenário 1); o tratamento apenas das águas cinzentas (Cenário 2).

Relativamente ao cenário 1, foi estimada uma área necessária de 4318 m<sup>2</sup> para a implementação do sistema de tratamento proposto, alcançando uma eficiência na remoção de CBO<sub>5</sub> na ordem dos 96,3%, após 61 dias de tratamento. Foi efetuada uma estimativa de custos do sistema de tratamento dimensionado, perfazendo um total de 196.652€.

Para o cenário de tratamento 2, estimou-se uma área necessária de 3769 m<sup>2</sup>, com uma eficiência na remoção de CBO<sub>5</sub> na ordem dos 93,9%, decorridos 38 dias de tratamento. Para a implementação deste sistema de tratamento, estimou-se um custo associado de 182.231€.

Concluiu-se que o cenário 1 tem um custo associado superior relativamente ao cenário 2, embora este permita o tratamento de toda a água residual produzida na Boomland, e que o sistema natural projetado se adequa ao caso de estudo e suas condicionantes.

**Palavras-chave:** Água Residual; BoomLand; Dimensionamento; Lagunagem; Sistemas Naturais

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

# I. ABSTRACT

The present dissertation was carried out in collaboration with Associação IdanhaCulta, with the objective of elaborating a wastewater treatment solution serving the uses and needs of Boomland, where several artistic and cultural events are organized, among which the Boom Festival and Being-Gathering.

Due to the occasional events promoted at Boomland, there is a high variation in the production of wastewater flow, which are divided into graywater, caused by restaurant activities and showers; and leachate from existing composting toilets, accounted as blackwaters. The current way the wastewater is treated does not present the desired efficiency, so it was necessary to consider the implementation of a new treatment system. To meet this need, natural wastewater treatment systems were considered as appropriate to the case study. Within these systems, constructed wetlands and wastewater stabilization ponds were addressed.

Given the quantity and quality of the wastewater produced in Boomland, and the way they vary throughout the year and with the promoted events, it was estimated the production of about 5250 m<sup>3</sup> of graywater that, together with the 150 m<sup>3</sup> of compostable toilets leachate, make up a total of 5400 m<sup>3</sup> of wastewater produced in the 8 days off the Boom Festival 2016 edition. Having chosen to design and implement a wastewater stabilization pond treatment system, the units that constitute the various stages of treatment were defined. These include a preliminary treatment stage, followed by an anaerobic stage, facultative stage and, as the final step of treatment, a polishing stage. The process of designing the selected treatment system was carried out, admitting two treatment scenarios, based on the maximum use event, the Boom Festival: the graywater treatment together with the leachate from the compostable toilets (Scenario 1); the treatment of the greywaters alone (Scenario 2).

Regarding scenario 1, a required area of 4318 m<sup>2</sup> was estimated for the implementation of the proposed treatment system, achieving an efficiency in the removal of BOD<sub>5</sub> in the order of 96,3% after 61 days of treatment. An estimated cost of the treatment system was assessed, totaling € 196.652.

For treatment scenario 2, a required area of 3769 m<sup>2</sup> was estimated, with an efficiency in the removal of BOD<sub>5</sub> in the order of 93,9%, after 38 days of treatment. For the implementation of this treatment system, an associated cost of € 182.231 was estimated.

It was concluded that scenario 1 has a higher associated cost compared to Scenario 2, although it does promote the treatment of all wastewater produced at Boomland, and that the natural system projected is appropriate to the case study and its characteristics.

**Keywords: BoomLand; Dimensioning; Lagooning; Natural Systems; Wastewater**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## II. ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
I. RESUMO .....	iii
II. ABSTRACT .....	v
III. LISTA DE ABREVIATURAS.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
IV. ÍNDICE.....	v
V. ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
VI. ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. BOOM FESTIVAL .....	1
1.2. BEING-GATHERING .....	2
1.3. BOOMLAND .....	3
1.3.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	3
1.3.2. ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO.....	6
1.3.3. CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA.....	11
1.3.4. CICLO DE ÁGUA RESIDUAIS .....	25
2. OBJETIVOS .....	29
3. ESTADO DA ARTE.....	31
3.1.....	32
3.2. <i>WETLANDS</i> .....	33
3.2.1. <i>WETLANDS</i> NATURAIS .....	33
3.2.2. <i>CONSTRUCTED WETLANDS (CWs)</i> .....	34
3.3. LAGUNAGEM .....	42
3.3.1. LAGOAS ANAERÓBIAS .....	44
3.3.2. LAGOAS FACULTATIVAS.....	46
3.3.3. LAGOAS DE MATURAÇÃO.....	47
4. METODOLOGIA.....	49
4.1. ANÁLISES DE SOLO .....	50
4.1.1. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	51
4.1.2. RESPIROMETRIA .....	52
4.1.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA .....	53
4.1.4. DENSIDADE A GRANEL, PH E HUMIDADE VOLUMÉTRICA.....	54
4.2. CONSUMOS DE ÁGUA .....	55
4.3. VOLUMES DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	57

4.4.	QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUAL .....	60
4.5.	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	64
4.5.1.	ÁREA NECESSÁRIA / CUSTO.....	65
4.5.2.	EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE POLUENTES.....	66
4.5.3.	OBSERVAÇÕES <i>IN-SITU</i> E CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS .....	68
4.6.	SISTEMA DE TRATAMENTO SELECIONADO .....	71
4.6.1.	VISÃO GERAL .....	72
5.	DIMENSIONAMENTO .....	83
5.1.	CENÁRIOS DE TRATAMENTO .....	84
5.2.	PARÂMETROS METEOROLÓGICOS.....	86
5.3.	CONFIGURAÇÃO-BASE DAS ETAPAS DE TRATAMENTO .....	87
5.4.	ETAPA ANAERÓBIA.....	88
5.4.1.	CAPACIDADE.....	88
5.4.2.	PROFUNDIDADE .....	89
5.4.3.	ÁREA .....	89
5.4.4.	CARGA ORGÂNICA VOLUMICA .....	90
5.4.5.	TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICO.....	91
5.4.6.	CAUDAL DE SAÍDA E OPERAÇÃO DA UNIDADE .....	92
5.4.7.	CBO <sub>5</sub> DO EFLUENTE DE SAÍDA .....	92
5.4.8.	GEOMETRIA.....	93
5.5.	ETAPA FACULTATIVA .....	94
5.5.1.	CARGA ORGÂNICA SUPERFICIAL .....	95
5.5.2.	ÁREA.....	96
5.5.3.	PROFUNDIDADE .....	96
5.5.4.	CAUDAL DE SAÍDA .....	97
5.5.5.	TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICO.....	98
5.5.6.	REMOÇÃO DE CBO <sub>5</sub> .....	99
5.5.7.	GEOMETRIA.....	101
5.5.8.	VOLUME ÚTIL E VOLUME TOTAL.....	105
5.5.9.	SÍNTESE DE DIMENSIONAMENTO DA ETAPA FACULTATIVA .....	106
5.6.	ETAPA DE POLIMENTO .....	107
5.6.1.	1º ESTÁGIO - LAGOAS DE MATURAÇÃO.....	107
5.6.2.	2º ESTÁGIO - FILTROS ROCHOSOS.....	115
5.7.	SÍNTESE DO PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO .....	122
6.	CONSTRUÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO .....	123
6.1.	IMPERMEABILIZAÇÃO .....	123

6.1.1.	LAGOAS FACULTATIVAS.....	124
6.1.2.	LAGOAS DE MATURAÇÃO.....	127
6.1.3.	FILTROS ROCHOSOS .....	128
6.2.	ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA DE CAUDAL .....	129
6.3.	PROPOSTA DE LOCALIZAÇÃO .....	130
7.	ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	133
7.1.	TRATAMENTO PRELIMINAR .....	133
7.2.	TANQUE ANAERÓBIO .....	134
7.3.	LAGOAS FACULTATIVAS .....	135
7.4.	LAGOAS DE MATURAÇÃO.....	136
7.5.	FILTROS ROCHOSOS .....	136
7.6.	ESTIMATIVA TOTAL .....	138
8.	CONCLUSÃO .....	139
9.	TRABALHOS FUTUROS.....	141
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	141
ANEXOS		

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*



### III. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Boom Festival 2014 Fonte: Galeria Boom Festival 2014.....	1
Figura 2 - Grupo de meditação - Being-Gathering FONTE: Galeria Being-Gathering 2017.....	2
Figura 3 – Localização da Boomland na região da Beira Baixa, Portugal .....	3
Figura 4 - Enquadramento da área na carta militar (1:25000).....	4
Figura 5 - Zona REN incluída na área de estudo.....	5
Figura 6 - Aplicação do zoneamento do POAI à área de estudo.....	10
Figura 7 - Temperaturas e precipitações médias de Alcafozes.....	11
Figura 8 – Distribuição das temperaturas por número de dias e meses .....	12
Figura 9 - Dias de sol, céu nublado e precipitação em Alcafozes.....	13
Figura 10 - Representação gráfica do balanço hídrico da freguesia de Alcafozes .....	17
Figura 11 - Altimetria da área de estudo à escala 1:20 000 (esquerda) e 1:40 000 (direita).....	18
Figura 12 - Linhas de drenagem da área de estudo .....	19
Figura 13 - Panorama geológico da área de estudo Adaptado de Naturtejo GEO.PARK [10] ...	20
Figura 14 - Classificação dos solos do concelho de Castelo Branco [11] .....	21
Figura 15 - Montados de sobre e azinho em Penamacor, Castelo Branco [16].....	22
Figura 16 - Grifo avistado na região da Beira Baixa [18] .....	23
Figura 17 - Ocupação do solo na área de estudo Adptado de EDRV – Território e Ambiente, LDA [5] .....	24
Figura 18 - Depósito de armazenamento de água na área de estudo .....	25
Figura 19 - Poços situados na área de estudo (solar à esquerda; com engenho à direita) .....	25
Figura 20 - WCs compostáveis na Boomland .....	26
Figura 21- Esquematização do funcionamento do Filtro Verde [4] .....	27
Figura 22 - Filtro Verde.....	27
Figura 23 - Wetlands naturais [30].....	33
Figura 24 - Representação dos componentes constituintes de uma constructed wetland Adaptado de EPA [32] .....	34
Figura 25 - Tipos de constructed wetlands Adaptado de Treatment Wetlands [28].....	35
Figura 26 - Configuração de uma constructed wetland com fluxo superficial [28] .....	36
Figura 27 - Constructed wetland com fluxo superficial [36] .....	37
Figura 28 - Configuração de uma CW com fluxo subsuperficial horizontal [22].....	38
Figura 29 - CW com fluxo subsuperficial horizontal na República Checa [40].....	39
Figura 30 - Configuração de uma CW com fluxo subsuperficial vertical [22] .....	40
Figura 31 – Possível configuração de uma CW híbrida Adaptado de Treatment Wetlands [28] .....	40
Figura 32 - CW com fluxo subsuperficial vertical em Pazo de Señorans, Galicia, Espanha .....	41
Figura 33 - Sistema de Lagoas de Estabilização de Águas Residuais em Arcadia, Wisconsin .....	42
Figura 34 - Esquematização de um sistema típico de lagoas de estabilização de águas residuais Adaptado de Compendium of Sanitation Systems and Technologies [43, 49] .....	43
Figura 35 - Processos que ocorrem numa lagoa anaeróbia Adaptado de Water Treatment in Sewage Treatment [50].....	45
Figura 36 - Processos que ocorrem numa lagoa facultativa .....	46
Figura 37 - Lagoas de maturação em Kuala Lumpur, Malásia [51] .....	47
Figura 38 - Instalação de um filtro rochoso em Ontário, Canadá .....	48
Figura 39 - Localização geográfica dos locais onde foram recolhidas as amostras de solo (imagem obtida através do Google Earth) .....	50
Figura 40 - Coluna de crivos e vibrador mecânico .....	51

Figura 41 – Representação gráfica das curvas granulométricas das amostras CP 1 e PC 1.....	51
Figura 42 - Representação das amostras analisadas no Triângulo de Feret.....	52
Figura 43 - Representação gráfica dos resultados do ensaio de respirometria do solo OXITOP	53
Figura 44 - Representação gráfica da composição química das amostras de solo analisadas ...	54
Figura 45 - Consumo de água da rede na Boomland nos anos de 2016 e 2017 .....	56
Figura 46 - Volumes de água cinzenta gerada na Boomland nos anos de 2016 e 2017 .....	59
Figura 47 - Lagoas existentes na Boomland (imagem obtida através do Google Earth) .....	68
Figura 48 - Observação das lagoas situadas na Boomland .....	69
Figura 49 - Identificação de linhas de água (zona das lagoas) .....	69
Figura 50 – Fluxograma típico de um processo de tratamento de águas residuais por lagunagem [48] .....	73
Figura 51 - Esquematização da hipótese considerada para a etapa anaeróbia.....	76
Figura 52 - Esquematização proposta para a configuração da etapa facultativa .....	77
Figura 53 - Esquematização proposta para a configuração da etapa de polimento.....	79
Figura 54 - Esquema síntese da estrutura proposta do sistema de tratamento a dimensionar	81
Figura 55 - Esquematização da geometria adotada para o tanque anaeróbio NOTA: as representações não estão à escala; as medidas representadas não têm em consideração a espessura das paredes do tanque.....	94
Figura 56 - Esquematização da represa de uma lagoa Adaptado de Waste Stabilisation Ponds [54] .....	102
Figura 57 - Localização dos parâmetros considerados para o cálculo das dimensões relativas à geometria real das lagoas Adaptado de Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries [46].....	103
Figura 58 - Vista superior de uma lagoa de estabilização .....	124
Figura 59 - Esquematização utilizada no cálculo da extensão diagonal dos taludes das lagoas facultativas do cenário 1 .....	125
Figura 60 - Esquematização utilizada no cálculo da extensão diagonal dos taludes das lagoas de maturação do cenário 1 .....	127
Figura 61 - Proposta de localização do sistema de tratamento dimensionado.....	131
 Tabela 1 - Plano de Água da Albufeira de Idanha .....	8
Tabela 2 - Plano de Proteção da Albufeira de Idanha .....	9
Tabela 3 - Temperaturas, precipitação e velocidades do vento em Alcafozes .....	11
Tabela 4 – Número de dias por mês em que são atingidas determinadas temperaturas e dias com formação de geada em Alcafozes .....	12
Tabela 5 - Dias de sol, céu nublado e precipitação em Alcafozes.....	13
Tabela 6 - Valores das normais climatológicas relativas à temperatura e precipitação para a região de Alcafozes .....	15
Tabela 7 - Cálculo da Evapotranspiração potencial (Etp) na região de Alcafozes.....	16
Tabela 8 - Balanço hídrico na região de Alcafozes .....	17
Tabela 9 - Composição química das amostras analisadas.....	53
Tabela 10 - Resultados dos ensaios de densidade a granel, pH e humidade volumétrica .....	54
Tabela 11 - Consumos de água de água da rede no ano de 2016 – Boomland .....	55
Tabela 12 - Cálculo estimativo dos volumes de águas cinzentas produzidos na Boomland em 2016 e 2017.....	58
Tabela 13 - Resultados relativos aos indicadores de contaminação abiótica Adaptado de Hygienic and sustainable cycling of human resources in BoomLand [4] .....	62

Tabela 14 - Composição típica de águas residuais municipais Adaptado de Treatment Wetlands [28] .....	63
Tabela 15 - Comparação dos pontos fortes e fracos de várias unidades naturais de tratamento de águas residuais [28].....	65
Tabela 16 – Cenário 1 – Tratamento dos dois tipos de águas residuais em conjunto.....	84
Tabela 17 - Cenário 2 - Tratamento de apenas águas residuais cinzentas .....	85
Tabela 18 - Cálculo dos valores diários médios dos parâmetros meteorológicos considerados nos meses mais quentes do ano .....	86
Tabela 19 - Valores adotados relativos aos parâmetros meteorológicos relevantes para o processo de dimensionamento .....	86
Tabela 20 - Síntese das considerações-base do processo de dimensionamento .....	87
Tabela 21 - Cálculo do caudal de entrada máximo no tanque anaeróbio .....	88
Tabela 22 - Cálculo da carga orgânica volúmica (tanque anaeróbio) .....	90
Tabela 23 - Cálculo do valor de CBO <sub>5</sub> esperado no efluente de saída do tanque anaeróbio .....	93
Tabela 24 - Geometria admitida para o tanque anaeróbio .....	93
Tabela 25 - Parâmetros de entrada relativos à etapa facultativa.....	94
Tabela 26 - Cálculo da área de cada lagoa facultativa .....	96
Tabela 27 - Cálculo do caudal de saída de cada lagoa facultativa .....	97
Tabela 28 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa facultativa .....	98
Tabela 29 - Cálculo da concentração de CBO <sub>5</sub> do efluente de saída de cada lagoa facultativa e a respetiva taxa de remoção.....	100
Tabela 30 - Cálculo da CBO <sub>5</sub> filtrada do efluente de saída .....	100
Tabela 31 - Geometria adotada para as lagoas facultativas .....	101
Tabela 32 - Configuração corrigida das lagoas facultativas .....	104
Tabela 33 - Cálculo das áreas superficiais das lagoas facultativas.....	105
Tabela 34 - Cálculo dos volumes úteis e totais de cada lagoa facultativa .....	106
Tabela 35 - Panorama conjunto das duas lagoas facultativas .....	106
Tabela 36 - Parâmetros de entrada relativos às lagoas de maturação.....	107
Tabela 37 - Cálculo da área de cada lagoa de maturação.....	108
Tabela 38 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa de maturação.....	110
Tabela 39 - Cálculo do valor de CBO <sub>5</sub> do efluente de saída das lagoas de maturação .....	110
Tabela 40 - Geometria adotada para as lagoas de maturação .....	111
Tabela 41 - Configuração corrigida das lagoas de maturação .....	112
Tabela 42 - Cálculo das áreas superficiais das lagoas facultativas.....	113
Tabela 43 - Cálculo do volume útil e total para cada lagoa de maturação.....	113
Tabela 44 - Panorama conjunto das duas lagoas de maturação .....	114
Tabela 45 - Parâmetros de entrada relativos à etapa de polimento .....	115
Tabela 46 - Cálculo da área e volume de cada filtro rochoso .....	117
Tabela 47 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico dos filtros rochosos.....	118
Tabela 48 - Cálculo da CBO <sub>5</sub> do efluente de saída dos filtros rochosos.....	119
Tabela 49 - Geometria adotada relativa aos filtros rochosos .....	120
Tabela 50 - Panorama conjunto dos dois filtros rochosos .....	121
Tabela 51 - Síntese do processo de dimensionamento do sistema de tratamento natural proposto .....	122
Tabela 52 - Área total das lagoas facultativas sujeita a impermeabilização.....	126
Tabela 53 - Área total das lagoas de maturação sujeita a impermeabilização.....	127
Tabela 54 - Área total dos filtros rochosos sujeita a impermeabilização .....	128
Tabela 55 - Cálculo das áreas de influência do sistema de tratamento dimensionado.....	130

Tabela 56 - Estimativa de custos relativo ao tanque anaeróbio .....	134
Tabela 57 – Estimativa de custos relativa às lagoas facultativas .....	135
Tabela 58 - Estimativa de custos relativa às lagoas de maturação .....	136
Tabela 59 - Estimativa de custos relativa aos filtros rochosos.....	137
Tabela 60 - Estimativa de custos total do sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem proposto .....	138

## IV. ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Plano de Água da Albufeira de Idanha .....	8
Tabela 2 - Plano de Proteção da Albufeira de Idanha .....	9
Tabela 3 - Temperaturas, precipitação e velocidades do vento em Alcafozes .....	11
Tabela 4 – Número de dias por mês em que são atingidas determinadas temperaturas e dias com formação de geada em Alcafozes .....	12
Tabela 5 - Dias de sol, céu nublado e precipitação em Alcafozes.....	13
Tabela 6 - Valores das normais climatológicas relativas à temperatura e precipitação para a região de Alcafozes .....	15
Tabela 7 - Cálculo da Evapotranspiração potencial (Etp) na região de Alcafozes.....	16
Tabela 8 - Balanço hídrico na região de Alcafozes .....	17
Tabela 9 - Composição química das amostras analisadas.....	53
Tabela 10 - Resultados dos ensaios de densidade a granel, pH e humidade volumétrica .....	54
Tabela 11 - Consumos de água de água da rede no ano de 2016 – Boomland .....	55
Tabela 12 - Cálculo estimativo dos volumes de águas cinzentas produzidos na Boomland em 2016 e 2017.....	58
Tabela 13 - Resultados relativos aos indicadores de contaminação abiótica Adaptado de Hygienic and sustainable cycling of human resources in BoomLand [4] .....	62
Tabela 14 - Composição típica de águas residuais municipais Adaptado de Treatment Wetlands [28] .....	63
Tabela 15 - Comparação dos pontos fortes e fracos de várias unidades naturais de tratamento de águas residuais [28].....	65
Tabela 16 – Cenário 1 – Tratamento dos dois tipos de águas residuais em conjunto.....	84
Tabela 17 - Cenário 2 - Tratamento de apenas águas residuais cinzentas .....	85
Tabela 18 - Cálculo dos valores diários médios dos parâmetros meteorológicos considerados nos meses mais quentes do ano .....	86
Tabela 19 - Valores adotados relativos aos parâmetros meteorológicos relevantes para o processo de dimensionamento.....	86
Tabela 20 - Síntese das considerações-base do processo de dimensionamento .....	87
Tabela 21 - Cálculo do caudal de entrada máximo no tanque anaeróbio .....	88
Tabela 22 - Cálculo da carga orgânica volúmica (tanque anaeróbio) .....	90
Tabela 23 - Cálculo do valor de CBO <sub>5</sub> esperado no efluente de saída do tanque anaeróbio .....	93
Tabela 24 - Geometria admitida para o tanque anaeróbio .....	93
Tabela 25 - Parâmetros de entrada relativos à etapa facultativa.....	94
Tabela 26 - Cálculo da área de cada lagoa facultativa .....	96
Tabela 27 - Cálculo do caudal de saída de cada lagoa facultativa .....	97
Tabela 28 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa facultativa .....	98
Tabela 29 - Cálculo da concentração de CBO <sub>5</sub> do efluente de saída de cada lagoa facultativa e a respetiva taxa de remoção.....	100
Tabela 30 - Cálculo da CBO <sub>5</sub> filtrada do efluente de saída .....	100
Tabela 31 - Geometria adotada para as lagoas facultativas .....	101
Tabela 32 - Configuração corrigida das lagoas facultativas .....	104
Tabela 33 - Cálculo das áreas superficiais das lagoas facultativas.....	105
Tabela 34 - Cálculo dos volumes úteis e totais de cada lagoa facultativa .....	106
Tabela 35 - Panorama conjunto das duas lagoas facultativas .....	106
Tabela 36 - Parâmetros de entrada relativos às lagoas de maturação .....	107

Tabela 37 - Cálculo da área de cada lagoa de maturação .....	108
Tabela 38 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa de maturação.....	110
Tabela 39 - Cálculo do valor de CBO <sub>5</sub> do efluente de saída das lagoas de maturação .....	110
Tabela 40 - Geometria adotada para as lagoas de maturação .....	111
Tabela 41 - Configuração corrigida das lagoas de maturação .....	112
Tabela 42 - Cálculo das áreas superficiais das lagoas facultativas .....	113
Tabela 43 - Cálculo do volume útil e total para cada lagoa de maturação .....	113
Tabela 44 - Panorama conjunto das duas lagoas de maturação .....	114
Tabela 45 - Parâmetros de entrada relativos à etapa de polimento .....	115
Tabela 46 - Cálculo da área e volume de cada filtro rochoso .....	117
Tabela 47 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico dos filtros rochosos.....	118
Tabela 48 - Cálculo da CBO <sub>5</sub> do efluente de saída dos filtros rochosos.....	119
Tabela 49 - Geometria adotada relativa aos filtros rochosos .....	120
Tabela 50 - Panorama conjunto dos dois filtros rochosos .....	121
Tabela 51 - Síntese do processo de dimensionamento do sistema de tratamento natural proposto .....	122
Tabela 52 - Área total das lagoas facultativas sujeita a impermeabilização.....	126
Tabela 53 - Área total das lagoas de maturação sujeita a impermeabilização .....	127
Tabela 54 - Área total dos filtros rochosos sujeita a impermeabilização .....	128
Tabela 55 - Cálculo das áreas de influência do sistema de tratamento dimensionado.....	130
Tabela 56 - Estimativa de custos relativo ao tanque anaeróbio .....	134
Tabela 57 – Estimativa de custos relativa às lagoas facultativas .....	135
Tabela 58 - Estimativa de custos relativa às lagoas de maturação .....	136
Tabela 59 - Estimativa de custos relativa aos filtros rochosos.....	137
Tabela 60 - Estimativa de custos total do sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem proposto .....	138

## V. LISTA DE ABREVIATURAS

As	Arsénio
B	Largura
Ba	Bário
Ca	Cálcio
CBO <sub>5</sub>	Carência Bioquímica de Oxigénio medida a 20°C, ao fim de 5 dias de incubação
Cd	Cádmio
CH	Carga hidráulica
Cm	Centímetros
Co	Cobalto
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COT	Carbono Orgânico Total
CQO	Carência Química de Oxigénio
Cr	Crómio
Cu	Cobre
CW	Constructed Wetland
D	Dia
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
Etp	Evapotranspiração potencial
Etr	Evapotranspiração real
Fe	Ferro
FR	Filtro Rochoso
FV	Filtro Verde
g/L	Gramas por litro
g/mL	Gramas por mililitro
H	Profundidade
H <sub>2</sub> S	Sulfato de Hidrogénio
ha	Hectares
hPa	Hectopascal
Infiltr.	Infiltração
K	Potássio
Kg	Quilogramas
Kg/ha.d	Quilograma por hectare por dia
km	Quilómetros
km/h	Quilómetros por hora
km <sup>2</sup>	Quilómetros quadrados
L	Litros
L	Comprimento
L/s	Litros por segundo
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metro quadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos

m <sup>3</sup> /d	Metros cúbicos por dia
mg/L	Miligramas por litro
mm	Milímetros
mm/d	Milímetros por dia
Mn	Manganésio
N	Azoto
N Total	Azoto Total
NaCl	Cloreto de sódio
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amoníaco
Ni	Níquel
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitritos
°C	Graus centígrados
P	Fósforo
P Total	Fósforo Total
P.E	População Equivalente
Pb	Chumbo
PDM	Plano Diretor Municipal
POAI	Plano de Ordenamento da Albufeira de Idanha-a-Nova
ppm	Partes por milhão
Precip.	Precipitação
Rácio L/B	Rácio comprimento/largura
RAS	Reserva de Água no Solo
Rb	Rubídio
RCM	Resolução de Conselho de Ministros
REN	Reserva Ecológica Natural
Sr	Estrôncio
SST	Sólidos Suspensos Totais
Ta	Tântalo
Temp.	Temperatura
Ti	Titânio
Tmax média	Temperatura máxima média
Tmédia	Temperatura média
Tmin média	Temperatura mínima média
Ton	Toneladas
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
V	Vanádio
WCs	Casas de banho
Zn	Zinco
ZPE	Zona de Proteção Especial do Tejo Internacional, Erges e Ponsul
Zr	Zircónio
λs	Carga orgânica superficial
λv	Carga orgânica volúmica



# 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho decorreu no Centro de Interpretação e Regeneração Ambiental, Social e Cultural da Beira Interior, em Idanha-a-Nova, doravante designado por Boomland, em ambiente colaborativo com a associação Idanha Culta, que fundou o espaço e o gere atualmente. Este local está orientado para o desenvolvimento social, ambiental e recreativo, desenvolvendo vários projetos artísticos, culturais e criativos. Das atividades e projetos desenvolvidos destacam-se o festival bienal “Boom Festival” e, nos anos em que este não ocorre, a organização promove também um festival de dimensão mais reduzida, denominado “Being-Gathering”. Ambos os eventos reúnem nas margens da barragem Marechal Carmona uma conferência de sensibilização ambiental associada à expressão artística multidisciplinar.

## 1.1. BOOM FESTIVAL

O Boom Festival é um evento bienal de cultura visionária que decorre na margem direita da Albufeira de Idanha-a-Nova, Castelo Branco, durante a lua cheia do pico do verão. Iniciou-se em 1997 como evento musical, organizado pela empresa Good Mood, que estabeleceu o festival no local atual em 2010 e que, recentemente, expandiu a sua área para 150 ha da Herdade da Granja. Enraíza-se então o projeto da “Boomland”, um espaço que idealiza a permanência na região e o desenvolvimento de iniciativas culturais, económicas e ambientais a longo prazo [1].

Uma das particularidades do Boom Festival é ser independente de qualquer sistema ou patrocínio comercial, desligando-se de qualquer estratégia de marketing e publicidade, apanágio da esmagadora maioria dos ditos festivais de verão.

Em 2010 o Boom Festival foi convidado a integrar a United Nations Environmental Programme – UNEP, sendo considerado pelas Nações Unidas como um dos mais importantes a nível mundial quanto a soluções sustentáveis para eventos [2]. Foi também considerado o festival mais ecológico da Europa em 2010 (Green’n’Clean Award), vencendo ainda a categoria máxima “Outstanding” em 2008, 2010, 2012 e 2014 do Greener Festival Award, atribuídos pelo júri de uma ONG britânica que avalia cerca de 500 festivais em todo o mundo [1].



*Figura 1 - Boom Festival 2014*  
*Fonte: Galeria Boom Festival 2014*

## 1.2. BEING-GATHERING

O Being-Gathering teve início em 2015, promovido pela associação Idanha Culta num ambiente divertido, confortável e de partilha. Neste âmbito são promovidas as sinergias entre a música, a cultura e o ambiente, vocacionado para a observação e interpretação dos elementos da natureza de forma a fundamentar os aspetos mais significativos do quotidiano das nossas vidas e da existência como um SER, "Being". Durante 5 dias consecutivos são realizados diversos workshops, conferências, práticas de yoga, danças, artes marciais e de meditação, podendo o público explorar ainda diversas terapias holísticas ou dançar ao som de transe orgânico, música tribal ou tradicional.

Deste modo, nos dois eventos supracitados, é promovido um clima de contacto com a natureza e de descontração, numa transparência de harmonia e civismo que se pode considerar mesmo única.

Ambos os eventos se destacam pela sua multiculturalidade e multidisciplinaridade, recebendo público proveniente de mais de 150 países e cruzando as mais variadas correntes artísticas num enorme leque de atividades como música, pintura, escultura ou dança, mas também variados workshops, espiritualidade, antropologia, entre muitas outras.

É também aspeto de destaque a forma auto-sustentável como os eventos são organizados e geridos, promovendo uma forte consciencialização ecológica e pondo em prática princípios holísticos. Nestas práticas, inserem-se as casas de banho compostáveis, o tratamento *in situ* de parte dos lixiviados do festival através de técnicas biológicas, reciclagem e distribuição de kits de limpeza ao público, entre outros. Em 2017 os sanitários do Being-Gathering foram reconhecidos pelo Ministério do Ambiente com um dos prémios "Sê-lo Verde", no vetor recursos [1].

Na edição de 2012, o Boom Festival tratou e reutilizou a totalidade dos 5,3 milhões de litros de água cinzenta gerados no decorrer do evento [3].



*Figura 2 - Grupo de meditação - Being-Gathering*  
FONTE: Galeria Being-Gathering 2017

## 1.3. BOOMLAND

### 1.3.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A Herdade da Granja, área onde se realizam os eventos e que, pela intenção de tornar o espaço num foco de desenvolvimento cultural, ambiental e económico permanente se passa a designar “Boomland”, localiza-se na margem direita da Albufeira de Idanha, freguesia de Alcafozes, concelho de Idanha-a-Nova, Distrito de Castelo Branco. Engloba cerca de 204 ha de solo rural onde se inserem dois prédios rústicos propriedade da Associação IdanhaCulta.

- Prédio Vale da Moreira – Espanadeira e Calafate com 34,10 ha (artigo 16, secção 1D);
- Prédio Granja do Cordeiro, com 170 ha (artigo 2, secção A).

É possível visualizar na Figura 3, a localização da Boomland na região da Beira Baixa [4]:

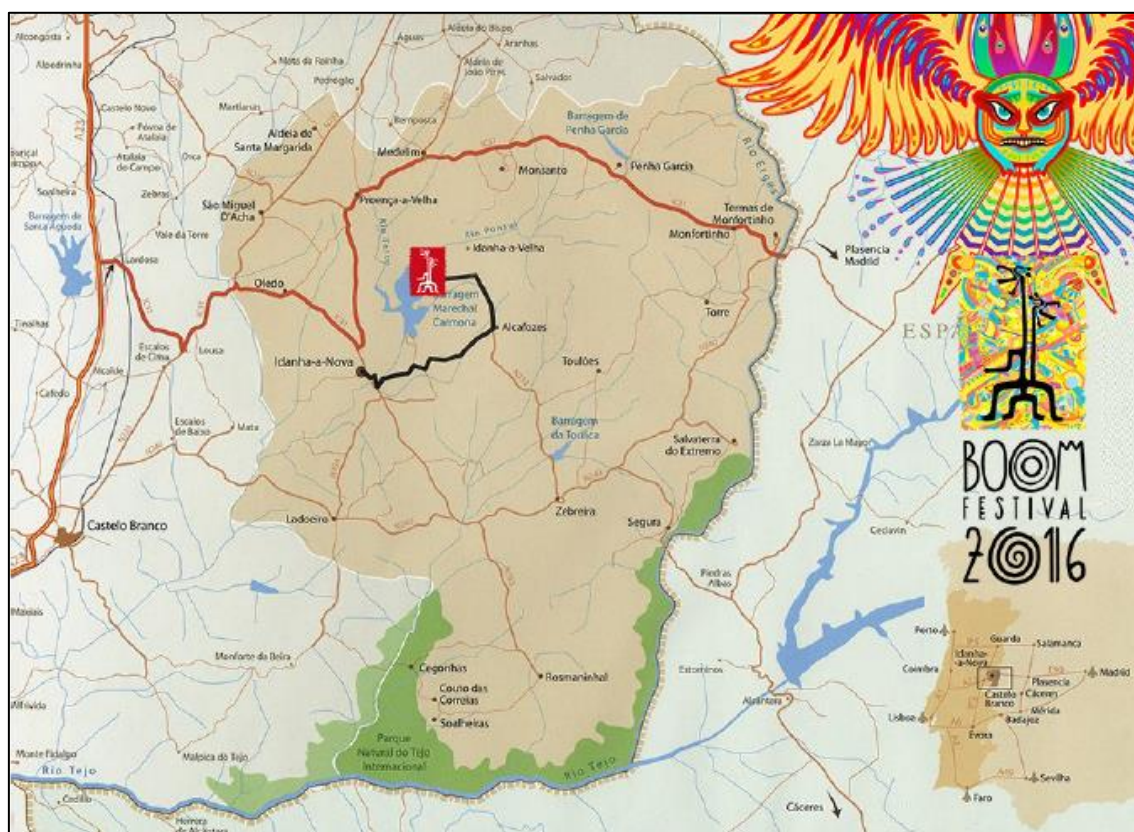


Figura 3 – Localização da Boomland na região da Beira Baixa, Portugal



Na sua totalidade, a propriedade soma aproximadamente 212 ha, embora, fruto da recente aquisição da Herdade da Granja, os limites exatos da propriedade ainda estejam a ser devidamente delineados [5].

A área de estudo enquadra-se na carta militar nº 270, à escala 1:25000, como se pode verificar pela Figura 4 [6]:

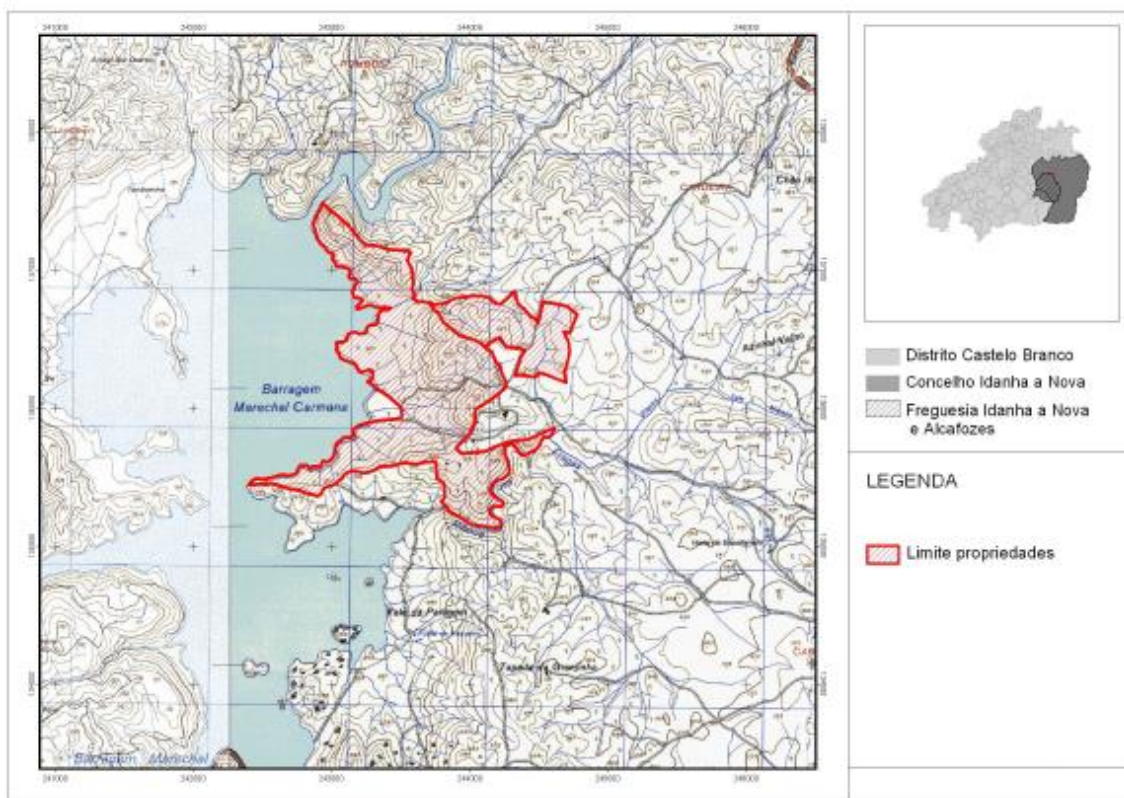
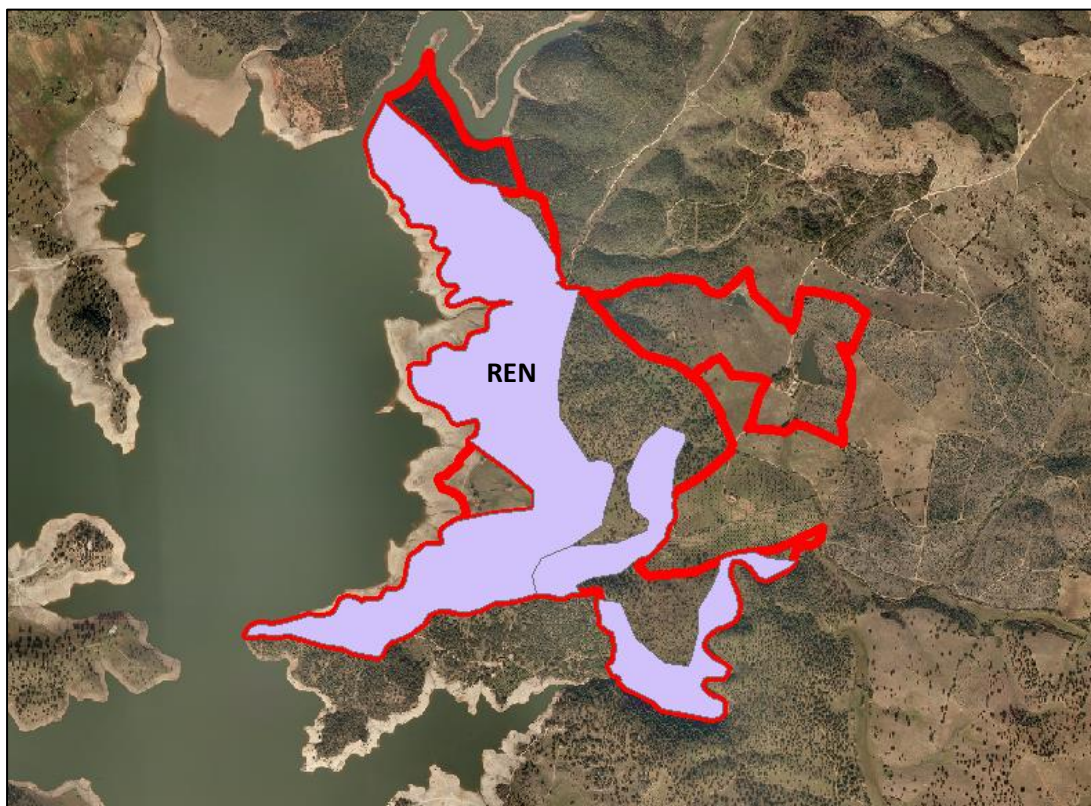


Figura 4 - Enquadramento da área na carta militar (1:25000)

A propriedade, já devidamente localizada, insere-se na província histórica da Beira Baixa, região tipicamente granítica com uma vasta diversidade nas formas de relevo e nos solos. Com uma maior afluência populacional nos aglomerados urbanos dos concelhos de Castelo Branco e Covilhã, os vastos campos de cereais e sobreiros servem populações mais reduzidas como as aldeias históricas de Monsanto, Penamacor ou Idanha-a-Velha. Pequenas bolsas de xisto tomam também lugar nesta região, exprimindo um solo mais pobre e seco, menos favorável ao cultivo, sendo ocupado muitas vezes por eucaliptais ou matos.

É de realçar ainda que a área de estudo engloba 108,41 ha de área pertencente à Reserva Ecológica Nacional (REN), correspondente a 58,28% da sua totalidade, possível de observar na Figura 5:



*Figura 5 - Zona REN incluída na área de estudo*

### 1.3.2. ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Segundo o modelo de ordenamento do Plano Diretor Municipal de Idanha-a-Nova (Resolução do Conselho de Ministros nº 43/94, de 5 de maio), que se encontra a ser revisto desde 2014, a área de estudo insere-se na categoria “espaços florestais e agroflorestais”. No entanto, pela sua localização junto à Albufeira de Idanha, a propriedade (Boomland) é abrangida pelo Plano Especial de Ordenamento de Território «Plano de Ordenamento da Albufeira de Idanha-a-Nova» (POAI). O POAI define regras de utilização específicas numa faixa envolvente à Albufeira com cerca de 500 m, sendo a restante área regida pelo PDM de Idanha-a-Nova [5].

#### 1.3.2.1. PLANO DE ORDENAMENTO DE TERRITÓRIO (PDM)

Segundo o PDM de Idanha-a-Nova, a área de estudo insere-se no Capítulo III «Espaços não urbanos», classificados em maior detalhe como predominantemente não urbanos, e integrados nas seguintes classes [7]:

- Espaços florestais de produção (Artigo 26.º):
  1. Estes espaços apresentam aptidão para utilizações intensivas em termos de produção e aproveitamento de produtos florestais.
  2. É permitida a ocupação com espécies florestais resinosas ou folhosas, de preferência autóctones ou tradicionais na paisagem portuguesa.
- Espaços agroflorestais (Artigo 29.º):
  1. Os espaços agroflorestais são aqueles que, tendo vocação predominantemente florestal, deverão ser ordenados em termos de uso múltiplo, admitindo usos agrícolas, pastoris e agroflorestais tradicionais, ou ser objeto de medidas de reconversão agrária.
  2. O regime de edificabilidade é idêntico ao regime geral de edificabilidade dos espaços florestais.

Pelo Artigo 17.º do PDM, no que diz respeito ao regime de restrições e condicionamentos, é de salientar:

1. Sem prejuízo das restrições e condicionantes constantes da lei, ficam interditas nestes espaços as práticas de destruição do revestimento vegetal, do relevo natural e das camadas de solo arável, desde que não integradas em práticas de exploração ou destinadas a ocupações expressamente autorizadas para cada classe e categoria do espaço.

No que toca à edificação, a Câmara Municipal de Idanha-a-Nova poderá autorizar edificações nestes espaços mediante as seguintes condições (Artigo 18.º):

1. O acesso pavimentado, o abastecimento de água, a drenagem de esgotos e o abastecimento de energia elétrica devem ser assegurados por sistema autónomo cuja construção e manutenção serão a cargo dos interessados, a menos que estes suportem o custo da extensão das redes públicas.

2. A altura máxima das edificações, com exceção de silos, depósitos de água ou instalações especiais devidamente justificadas, é de 6,5 m, medidos à platibanda ou beirado e dois pisos.
3. O índice de utilização de solo máximo é de 0,10.

No que diz respeito à edificação ligada à habitação (Artigo 19.º) é relevante referir que a área bruta de construção máxima é de 400 m<sup>2</sup>.

Finalmente, o artigo 20.º, refere que a Câmara Municipal poderá autorizar a edificação de instalações destinadas à atividade agropecuária, desde que se cumpram os seguintes pressupostos:

1. A área bruta de construção máxima é de 2000 m<sup>2</sup>.
2. A altura máxima é de 4,5 m, medidos à platibanda ou beirado e um piso.
3. Os efluentes de instalações agropecuárias ou de nitreiras não podem ser lançados diretamente em linhas de água, devendo ser previamente assegurado o seu tratamento bacteriológico e químico.
4. O afastamento mínimo a zonas residenciais e equipamentos coletivos é de 200 m.

#### 1.3.2.2. PLANO DE ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE IDANHA-A-NOVA (POAI)

O POAI, aprovado pela RCM nº 170/2008 de 11 de setembro, tem como principal objetivo ordenar o território, visando o seu equilíbrio ecológico na proteção dos recursos naturais no plano de água e zona de proteção, assim como a salvaguarda dos usos primários da albufeira, rega e produção de energia [8].

A albufeira localiza-se num troço do rio Ponsul, possuindo uma capacidade de armazenamento de água de 78100 m<sup>3</sup> e de uma superfície inundável de 678 hectares. Encontra-se classificada, pelo Decreto-Regulamentar n.º 2/88, de 20 de janeiro, como albufeira protegida - «albufeiras protegidas são aquelas cuja água é ou se prevê que venha a ser utilizada para abastecimento de populações e aquelas cuja proteção é ditada por razões de defesa ecológica [5].

As normas descritas neste plano regem os espaços abrangidos pelo mesmo, ou seja, incidem sobre o plano de água e respetiva zona de proteção com uma largura de 500 m contada a partir do nível de pleno armazenamento (cota 255,5 m). Cerca de 138 hectares da área de estudo estão abrangidos pelo POAI, ou seja, aproximadamente 70% da sua totalidade [5].

Este plano, incorpora medidas, indicações e disposições que têm como objetivo promover uma gestão sustentável do espaço abrangível pelas suas condicionantes. Como tal, é elaborado um plano de água e é delimitada uma zona de proteção, debruçando-se ainda sobre a problemática do saneamento básico, crucial para o estudo em questão [8].

Relativamente ao plano de água, a área de estudo é distribuída pelas classes de uso verificadas na Tabela 1 [5]:

*Tabela 1 - Plano de Água da Albufeira de Idanha*

Plano de Água	
<b>Zona de utilização interdita</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é permitida a realização de ações suscetíveis de prejudicar a tranquilidade e as condições de abrigo, alimentação ou reprodução da fauna selvagem. Sendo interdito: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) A navegação de qualquer tipo de embarcações;</li> <li>b) A realização de quaisquer competições desportivas;</li> <li>c) A construção de pontões ou pontos de amarração para embarcações de qualquer tipo;</li> <li>d) A prática de quaisquer outros atos ou atividades suscetíveis de prejudicar, de forma grave, a tranquilidade e as condições de abrigo, alimentação ou reprodução da fauna e flora selvagem.</li> </ul> </li> <li>• Constitui exceção ao disposto no número anterior a navegação para fins de fiscalização, de emergência ou de manutenção.</li> </ul>
<b>Zona de utilização livre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite-se a navegação de embarcações propulsadas a motor de combustão ou de propulsão elétrica, desde que naveguem a uma distância superior a 50 m do limite do plano de água.</li> <li>• Nesta zona pode, excecionalmente, ser autorizada a realização de competições náuticas com embarcações a motor.</li> <li>• Podem nesta zona ser impostas restrições ou zonamentos, nas situações previstas no n.º 4 do artigo anterior.</li> <li>• As embarcações devem utilizar, para entrada e saída do plano de água, a rampa de apoio assinalada na planta de síntese.</li> <li>• As atividades previstas neste artigo apenas devem ser permitidas se das mesmas não resultarem quaisquer perigos para pessoas e bens.</li> </ul>

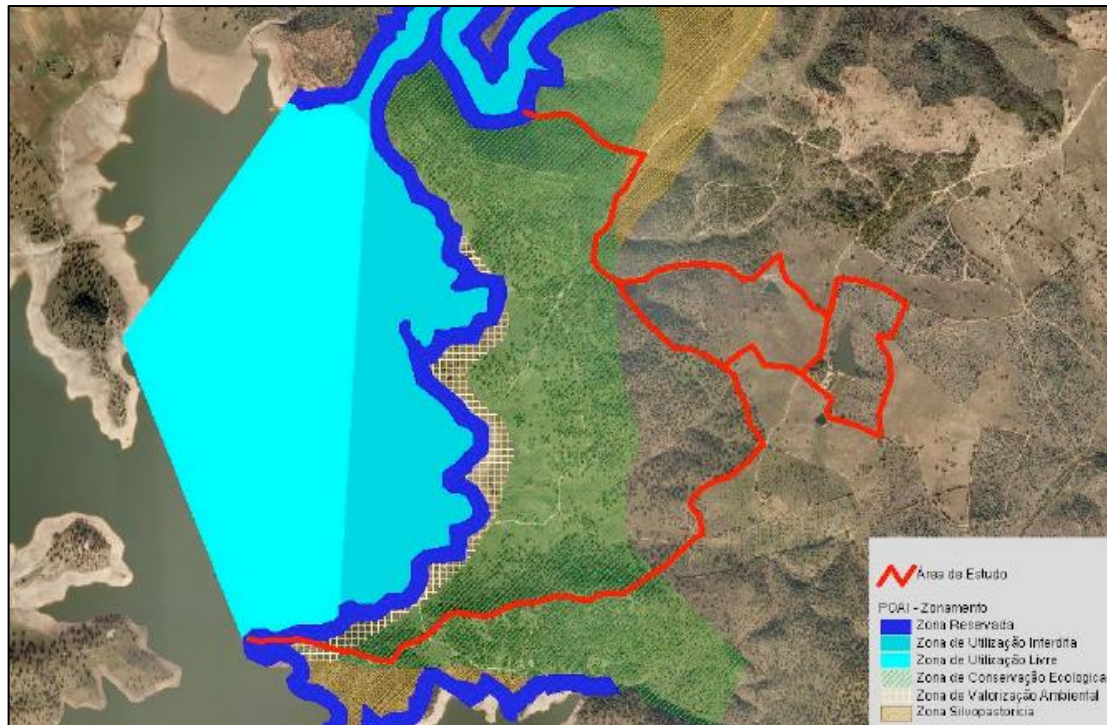


Relativamente à zona de proteção à Albufeira, a Tabela 2 distingue as seguintes classes [5]:

*Tabela 2 - Plano de Proteção da Albufeira de Idanha*

<b>Plano de Proteção à Albufeira</b>	
<b>Zona Reservada (50m)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Na zona reservada não é permitida a realização de quaisquer obras de construção que não sejam de apoio à utilização da albufeira.</li> <li>• É permitida nesta zona a realização de obras de conservação de construções legalmente licenciadas, desde que devidamente fundamentadas e sem que impliquem aumento da área de construção.</li> </ul>
<b>Zona de conservação ecológica da paisagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integra um conjunto de áreas de povoamentos de azinho e de sobro, caracterizadas pelo seu elevado valor ecológico e qualidade visual da paisagem</li> <li>• É permitida nesta zona a realização de obras de reconstrução e de conservação das edificações existentes.</li> </ul>
<b>Zona de valorização ambiental e paisagística</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corresponde ao conjunto de áreas de grande importância do ponto de vista ambiental e paisagístico, adjacentes ao plano de água e às zonas de conservação ecológica da paisagem.</li> <li>• Constituem objetivos de ordenamento desta zona a proteção e valorização da paisagem e a preservação da zona de contacto do plano de água associado.</li> </ul>
<b>Zona de Silvo pastorícia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A zona de silvo pastorícia é integrada, essencialmente, por matos e povoamentos de azinheira.</li> <li>• Constituem objetivos de ordenamento desta zona a valorização e manutenção dos valores naturais presentes e sua compatibilização com os usos existentes, nomeadamente agrícolas e pastoris, através de uma gestão adequada.</li> <li>• Nesta zona é interdita a prática das seguintes atividades e ações: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mobilizações profundas do solo que afetem o sistema radicular das árvores;</li> <li>2. Novas edificações, com exceção de instalações de vigilância e combate a incêndios.</li> </ol> </li> </ul>

Aplicando os fatores de zoneamento descritos no POAI à área de estudo, é possível obter uma representação das várias zonas distintas que figuram na propriedade, como se verifica na Figura 6 [5]:



*Figura 6 - Aplicação do zoneamento do POAI à área de estudo*

O Plano de Ordenamento da Albufeira de Idanha-a-Nova aborda ainda a problemática do saneamento básico, incidindo sobre a descarga e tratamento de efluentes. Como tal, as áreas abrangidas pelo POAI, mediante as atividades que praticam, têm de assegurar a qualidade da água que descarregam, através do tratamento adequado dos seus efluentes domésticos, industriais ou pecuários. De modo a salvaguardar a qualidade da água da albufeira, todas as unidades de tratamento ou reunião de efluentes de qualquer origem deverão ser sujeitas a um controle efetivo, de modo a cumprir os requisitos legais exigidos para se proceder à sua descarga [8].

### 1.3.3. CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA

#### 1.3.3.1. CLIMA

Para a avaliação climatológica da área de estudo, recorreu-se à plataforma online “Meteoblue”, que fornece diagramas climáticos baseados em 30 anos de simulações do modelo estratégico por hora, em qualquer ponto do planeta. Os dados meteorológicos simulados têm uma resolução espacial de cerca de 30 km, pelo que foi selecionada a freguesia de Alcafozes (39.95°N 7.12°O ,altura: 375m), onde a Boomland está inserida, para se proceder a esta avaliação [9].

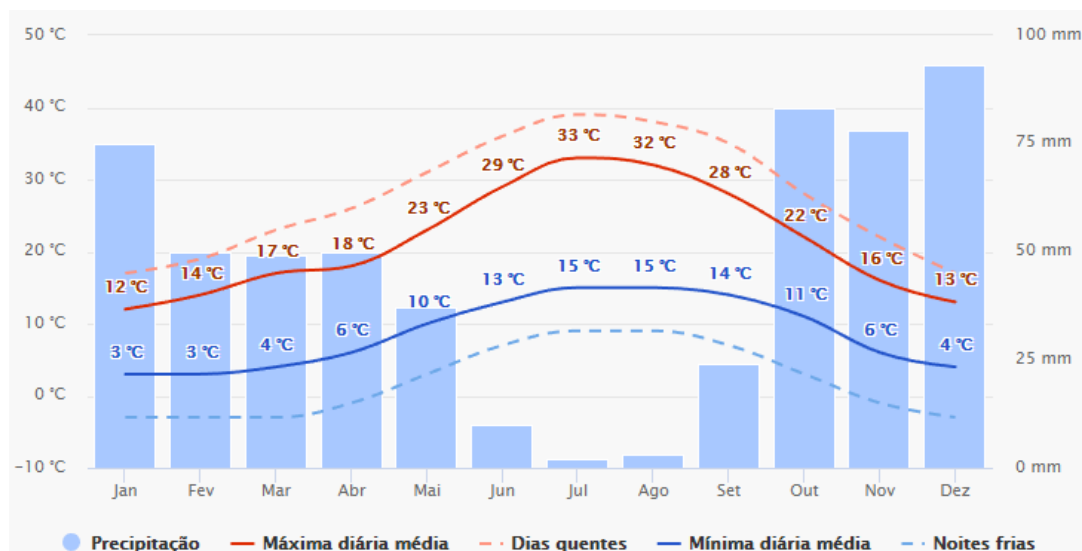


Figura 7 - Temperaturas e precipitações médias de Alcafozes

Como é possível verificar na Figura 5, a região é caracterizada por elevadas amplitudes térmicas, podendo os termómetros atingir temperaturas negativas em noites frias de inverno como também marcar temperaturas próximas dos 40°C em dias quentes de verão. A precipitação concentra-se na sua quase totalidade no outono/inverno, atingindo o seu pico no mês de dezembro. É claro o efeito da sazonalidade na região, evidenciando um verão muito seco com temperaturas elevadas. Na Tabela 3 estão discriminados os dados meteorológicos que suportam os gráficos da Figura 7, incluindo ainda os valores da velocidade do vento que se mantêm aproximadamente constantes ao longo do ano (10 km/h) [9].

Tabela 3 - Temperaturas, precipitação e velocidades do vento em Alcafozes

		Precip. (mm)	Máx. diária média (°C)	Dias Quentes (°C)	Mín. diária Média (°C)	Noites Frias (°C)	Velo. do vento (km/h) mínimo- (média) – máximo
Nº de dias por mês	jan	75,0	12,0	17,0	3,0	-3,0	5,0 – (10,0) – 15,0
	fev	50,0	14,0	19,0	3,0	-3,0	5,0 – (10,0) – 16,0
	mar	49,0	17,0	23,0	4,0	-3,0	5,0 – (11,0) – 17,0
	abr	50,0	18,0	26,0	6,0	-1,0	5,0 – (11,0) – 18,0
	mai	37,0	23,0	31,0	10,0	3,0	4,0 – (10,0) – 16,0
	jun	10,0	29,0	36,0	13,0	7,0	4,0 – (10,0) – 16,0
	jul	2,0	33,0	39,0	15,0	9,0	4,0 – (10,0) – 16,0
	ago	3,0	32,0	38,0	15,0	9,0	3,0 – (9,0) – 15,0
	set	24,0	28,0	35,0	14,0	7,0	3,0 – (9,0) – 15,0
	out	83,0	22,0	28,0	11,0	3,0	4,0 – (10,0) – 15,0
	nov	78,0	16,0	22,0	6,0	-1,0	5,0 – (10,0) – 15,0
	dez	93,0	13,0	17,0	4,0	-3,0	5,0 – (10,0) – 15,0

Outro fenómeno que tem influência na avaliação climatológica da área de estudo é a geada, que se manifesta tipicamente na região durante cerca de 35 dias por ano, de forma mais acentuada nos meses de inverno, como dezembro e janeiro. É por isso também um fenómeno sazonal, que se manifesta em maior escala quando as temperaturas máximas diárias são menores, como se verifica na Figura 8 [9]:

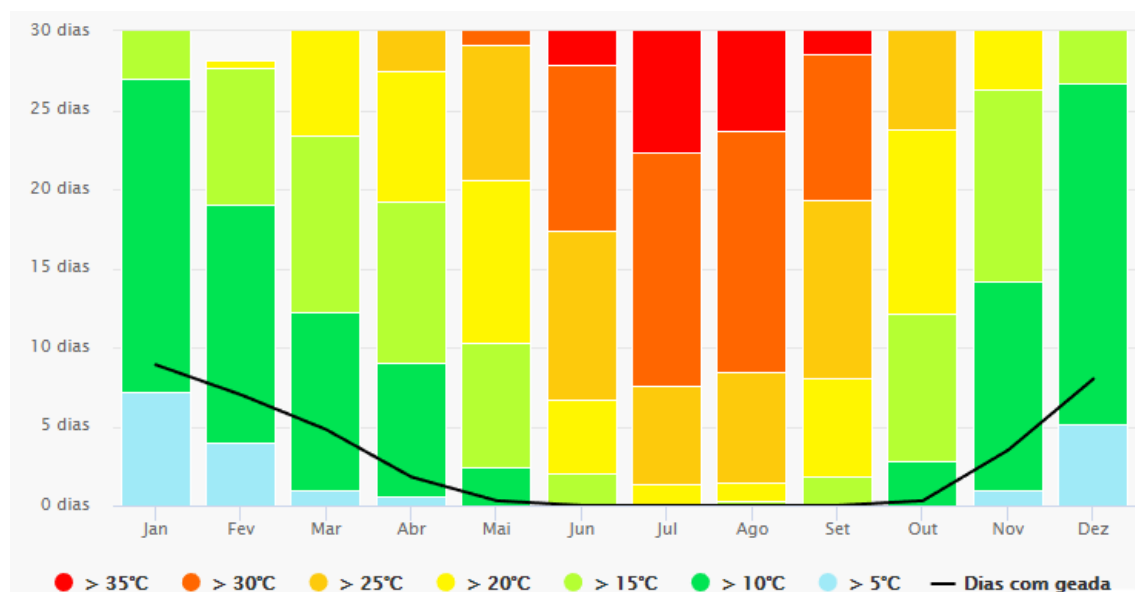


Figura 8 – Distribuição das temperaturas por número de dias e meses

O diagrama da temperatura máxima para a freguesia de Alcafozes mostra quantos dias por mês atingem certas temperaturas. A Tabela de dupla de entrada (Tabela 4) serve de base à figura anterior, organizando os valores de temperatura máxima em intervalos com 5°C de amplitude e contabilizando em cada mês o número de dias em que existe geada [9].

Tabela 4 – Número de dias por mês em que são atingidas determinadas temperaturas e dias com formação de geada em Alcafozes

		> 35°C	> 30°C	> 25°C	> 20°C	> 15°C	> 10°C	> 5°C	Dias com geada
Nº de dias por mês	jan	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	19,8	7,2	8,9
	fev	0,0	0,0	0,0	0,5	8,7	15,0	4,0	7,0
	mar	0,0	0,0	0,2	7,3	11,2	11,2	1,0	4,8
	abr	0,0	0,0	2,5	8,3	10,2	8,4	0,6	1,8
	mai	0,1	1,8	8,5	10,3	7,9	2,4	0,0	0,3
	jun	2,1	10,5	10,7	4,7	1,9	0,1	0,0	0,0
	jul	8,4	14,7	6,2	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0
	ago	6,9	15,3	6,9	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0
	set	1,5	9,2	11,2	6,3	1,8	0,0	0,0	0,0
	out	0,0	0,5	6,7	11,7	9,3	2,8	0,0	0,3
	nov	0,0	0,0	0,0	3,7	12,1	13,2	1,0	3,5
	dez	0,0	0,0	0,0	0,1	4,3	21,6	5,1	8,0

No que diz respeito à insolação, a região apresenta valores que oscilam entre as 2400 horas/ano, nas zonas Norte e Oeste, e as 2900 horas/ano nas campinas de Idanha e Castelo Branco [5].

Finalmente, analisou-se o número mensal de dias de sol, céu nublado e ainda dias de chuva, como se pode verificar pela Figura 9 [9]:

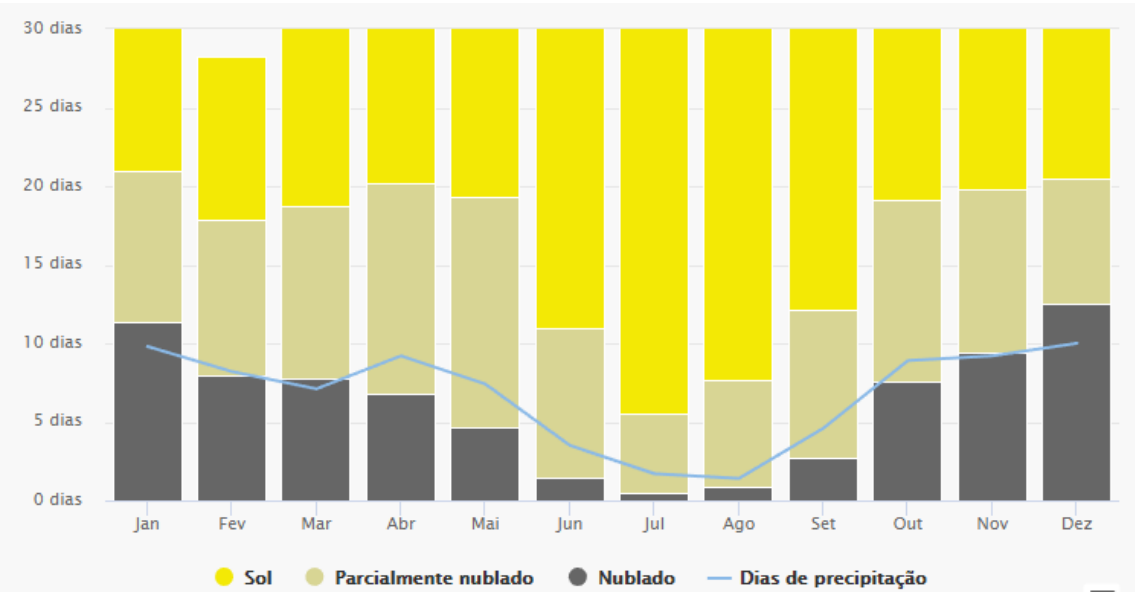


Figura 9 - Dias de sol, céu nublado e precipitação em Alcafozes

O gráfico representado na Figura 9 apresenta o número mensal de dias de sol, céu nublado e dias com precipitação em Alcafozes. Dias com menos de 20% de cobertura de nuvens são considerados como dias de sol, de 20 a 80% de cobertura de nuvens considera-se parcialmente nublado, e acima dos 80% de cobertura, é considerado um dia nublado.

Os valores utilizados para representa o gráfico da Figura 9 são descriminados na Tabela 5 [9]:

Tabela 5 - Dias de sol, céu nublado e precipitação em Alcafozes

		Sol	Parcialmente Nublado	Nublado	Chuva
Nº de dias por mês	jan	10,0	9,6	11,4	9,8
	fev	10,4	9,9	8,0	8,2
	mar	12,3	10,9	7,8	7,1
	abr	9,8	13,4	6,8	9,2
	mai	11,7	14,6	4,7	7,4
	jun	19,0	9,5	1,5	3,5
	jul	25,5	5,0	0,5	1,7
	ago	23,3	6,8	0,9	1,4
	set	17,9	9,4	2,7	4,6
	out	11,9	11,5	7,6	8,9
	nov	10,3	10,4	9,4	9,2
	dez	10,5	8,0	12,5	10,0

### 1.3.3.2. BALANÇO HÍDRICO REGIONAL

Após as referências climatológicas supramencionadas, propõe-se uma breve quantificação do balanço hídrico regional, através de uma metodologia simples proposta por Thornthwaite.

No âmbito do presente caso de estudo, tem particular importância a fase em que a água atravessa o solo e se dirige em profundidade para o lençol freático. Este processo, que se designa por infiltração, é não linear, na medida em que, consoante o estado de saturação do solo, a quantidade de água que se infiltra não é a mesma para a mesma precipitação, isto é, o comportamento do solo depende da sua história recente e não é invariante no tempo.

A quantidade de água que se infiltra no solo não pode ser determinada diretamente, já que não é observável de forma direta. A água que resulta do escoamento superficial e subsuperficial é aproximadamente conhecida, pelo menos a nível da bacia hidrográfica, através do balanço do caudal dos rios que entram e que abandonam uma determinada área. Na impossibilidade de se conhecer diretamente a quantidade de água que se infiltra, procura-se conhecer a que sofre evapotranspiração para se aferir a infiltrada. No entanto, a água que sofre evapotranspiração também não é observável, na medida em que se escapa para a atmosfera na forma de vapor. Tentativas de medir a evapotranspiração diretamente pela pesagem de volumes de terra encerrada num barril sem fundo enterrado (lisímetro), esbarram nas perturbações que tais dispositivos provocam no escoamento de água através do solo, na medida em que junto às paredes exteriores se criam direções preferenciais de escoamento, e em que o próprio contacto na interface do fundo do lisímetro é diferente do real.

### Estimativa da Evapotranspiração potencial (ETp) - Fórmula de Thornthwaite (fórmula empírica)

Considerando fundamental conhecer o sistema de percolação das águas superficiais e subterrâneas da área em estudo, torna-se necessário um primeiro exercício (ainda que nesta fase de forma aproximada) da quantificação de algumas variáveis hídricas e hidrogeológicas locais. Numa fase inicial é relevante considerar as variáveis Evapotranspiração Potencial (ETp), Evapotranspiração Real (ETr), Reserva de Água no Solo (RAS) e Infiltração (Infiltr). Numa segunda fase deverá determinar-se outras variáveis, tais como a permeabilidade, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento das áreas envolvidas neste estudo.

Em consonância com o parágrafo anterior efetuou-se o balanço hídrico regional (Alcafozes). A opção pela fórmula de Thornthwaite resulta da sua fácil aplicação aliada à sua muito satisfatória aproximação aos valores reais.

Os valores das normais climatológicas relativas à temperatura e precipitação na região de Alcafozes apresentam-se na Tabela 6:

*Tabela 6 - Valores das normais climatológicas relativas à temperatura e precipitação para a região de Alcafozes*

Mês	Tmax média (°C)	Tmin média (°C)	Tmédia (°C)	Precipitação (mm)
Jan	12,0	3,0	7,5	75,0
Fev	14,0	3,0	8,5	50,0
Mar	17,0	4,0	10,5	49,0
Abr	18,0	6,0	12,0	50,0
Mai	23,0	10,0	16,5	37,0
Jun	29,0	13,0	21,0	10,0
Jul	33,0	15,0	24,0	2,0
Ago	32,0	15,0	23,5	3,0
Set	28,0	14,0	21,0	24,0
Out	22,0	11,0	16,5	83,0
Nov	16,0	6,0	11,0	78,0
Dez	13,0	4,0	8,5	93,0

Estimativa da evapotranspiração potencial (ETp), através da fórmula de Thornthwaite:

$$ET_p = 16 \left( \frac{10\theta}{I} \right)^a \times F(\lambda) \quad (\text{Eq.1})$$

em que:

$\theta$  = Temperatura média do período em análise;

$a = 6,75 \times 10^{-7} \cdot I^3 - 7,7 \times 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \times 10^{-2} \cdot I + 0,49239$

$I$  = Índice térmico anual, soma de doze índices térmicos mensais  $i$ :

$$I = \sum i ; i = \left(\frac{\theta}{5}\right)^{1,514}$$

$F(\lambda)$  = Coeficiente de correção, função da latitude e do mês (tabelado);

Com base na Equação 1 foi possível calcular os valores mensais relativos à evapotranspiração potencial na região de Alcafozes, apresentados na Tabela 7:

*Tabela 7 - Cálculo da Evapotranspiração potencial (Etp) na região de Alcafozes*

Mês	T média (°C)	$i = (T_{média}/5)^{1,514}$	$F(\lambda)$	Etp (mm)	Precipitação (mm)
Jan	7,5	1,85	0,84	15,88	75,0
Fev	8,5	2,23	0,83	19,06	50,0
Mar	10,5	3,07	1,03	32,85	49,0
Abr	12,0	3,76	1,11	43,58	50,0
Mai	16,5	6,10	1,24	79,87	37,0
Jun	21,0	8,78	1,25	117,14	10,0
Jul	24,0	10,75	1,27	146,47	2,0
Ago	23,5	10,41	1,18	131,71	3,0
Set	21,0	8,78	1,04	97,46	24,0
Out	16,5	6,10	0,96	61,83	83,0
Nov	11,0	3,30	0,83	28,46	78,0
Dez	8,5	2,23	0,81	18,60	93,0

Com:

$$a = 1,55$$

$$I = 67,37$$



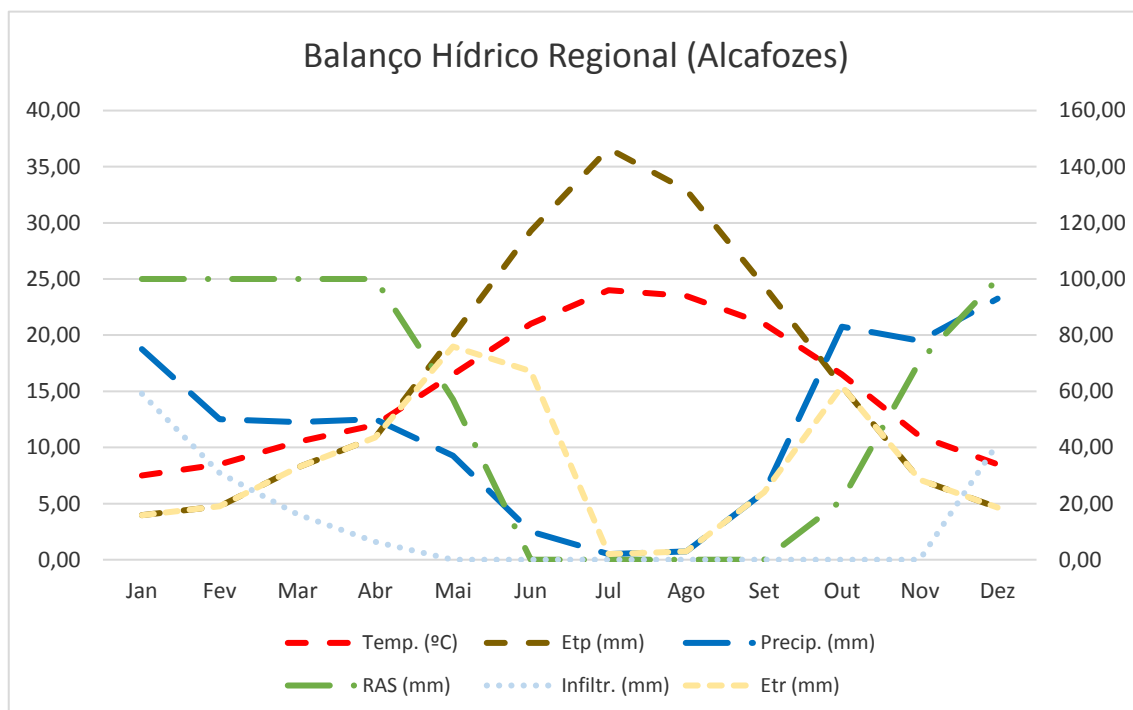
## Balanço Hídrico na Região de Alcafozes

Dados os resultados obtidos pelos cálculos realizados na etapa anterior, foi possível estimar o balanço hídrico na região de Alcafozes, como se pode verificar pela análise da Tabela 8:

*Tabela 8 - Balanço hídrico na região de Alcafozes*

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Tmédia (°C)	7,50	8,50	10,50	12,00	16,50	21,00	24,00	23,50	21,00	16,50	11,00	8,50
Etp (mm)	15,88	19,06	32,85	43,58	79,87	117,14	146,47	131,71	97,46	61,83	28,46	18,60
Precip. (mm)	75,00	50,00	49,00	50,00	37,00	10,00	2,00	3,00	24,00	83,00	78,00	93,00
RAS (mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	57,13	0,00	0,00	0,00	0,00	21,17	70,71	100,00
Infiltr. (mm)	59,12	30,94	16,15	6,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,42
Etr (mm)	15,88	19,06	32,85	43,58	75,93	67,13	2,00	3,00	24,00	61,83	28,46	18,60

A partir da Tabela 8 foi possível obter a representação gráfica relativa ao balanço hídrico regional de Alcafozes, apresentada na Figura 10:



*Figura 10 - Representação gráfica do balanço hídrico da freguesia de Alcafozes*

### 1.3.3.3. RELEVO E ALTIMETRIA

O relevo da área de estudo apresenta-se ondulado, desenvolvendo-se em “anfiteatro” desde o plano de água até à linha de cumeeada. As variações altimétricas variam desde a cota 260 à 340 [6].

Na Figura 11 é possível verificar a altimetria da área de estudo, recorrendo ao *software* ArcGis:

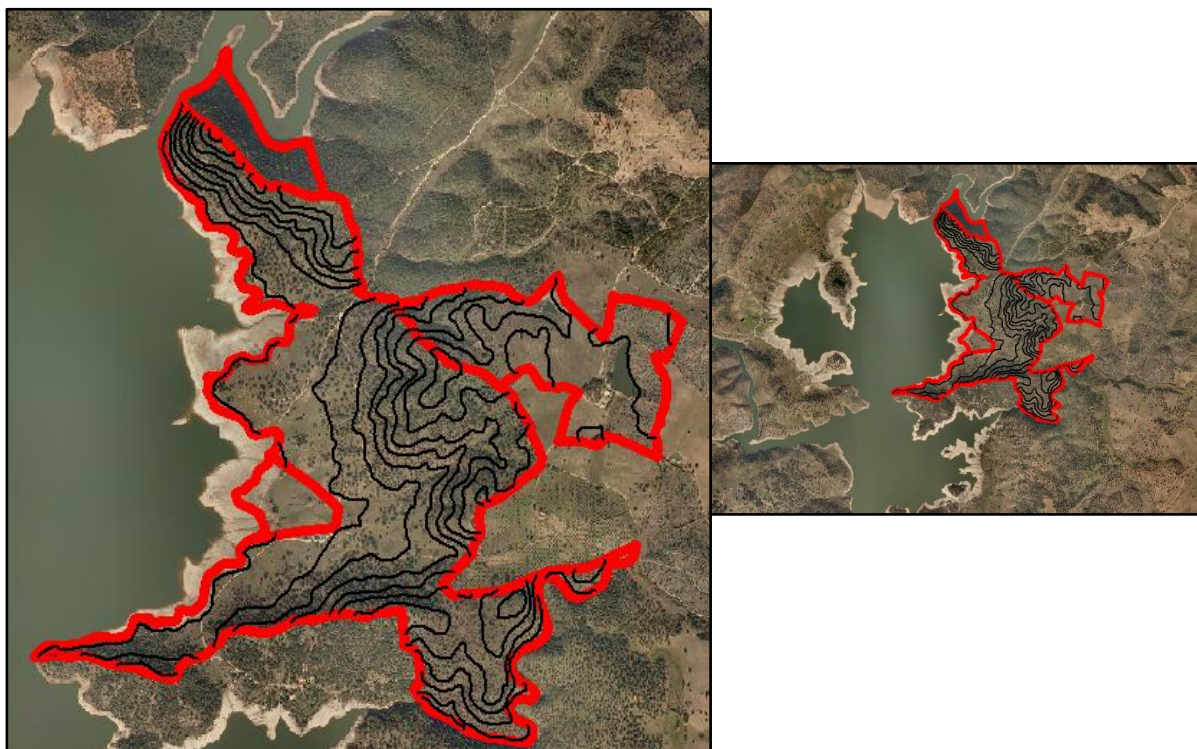


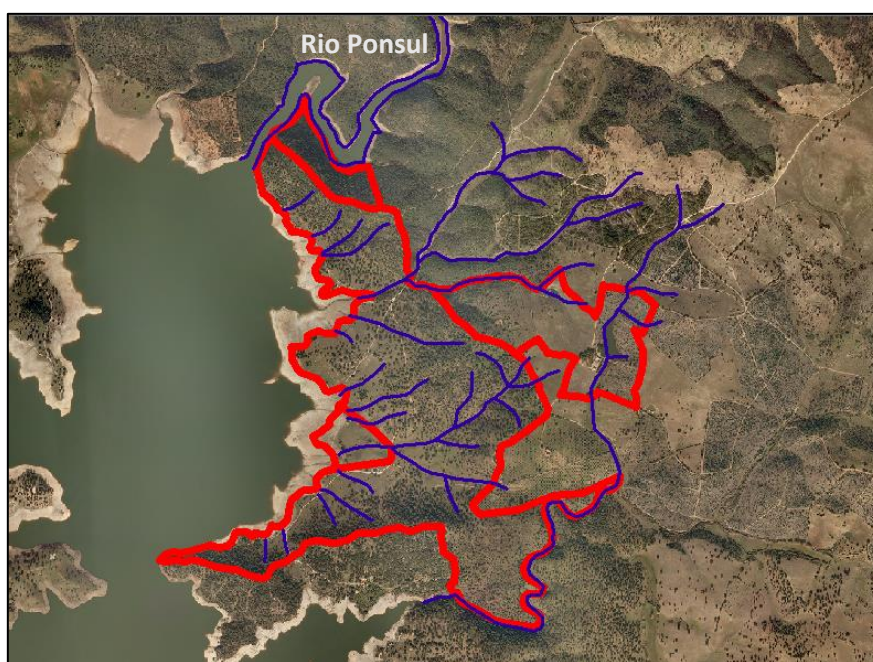
Figura 11 - Altimetria da área de estudo à escala 1:20 000 (esquerda) e 1:40 000 (direita)

Como se verifica pela Figura 11, o relevo da propriedade é maioritariamente suave, predominando os declives entre 0 e 8% com 77,51% da área total [6].

No que diz respeito à exposição, observa-se que nas exposições a Sul, onde existe maior incidência solar, a cobertura vegetal está sujeita a uma maior dissecação, originando, por sua vez, um *stress* hídrico mais elevado.

#### 1.3.3.4. HIDROGRAFIA

A Boomland é limitada a norte pelo rio Ponsul, afluente do Tejo, que conduz a água até à Albufeira de Idanha, que armazena a água proveniente da barragem de Idanha, estrutura que foi concluída em 1947, com a finalidade de produção de energia hidroelétrica e regadio. A Albufeira de Idanha tem um papel fulcral no abastecimento das populações locais, incluindo-se na tipologia “Albufeiras e Faixas de Proteção” (delimitação REN), sendo alvo de proteção por razões de defesa ecológica. Tanto o Rio Ponsul como o Rio Ocreza, principais cursos de água da região, são afluentes do Tejo, rio mais extenso da Península Ibérica que desagua em Lisboa, no Oceano Atlântico [5].



*Figura 12 - Linhas de drenagem da área de estudo*

Como se verifica pela Figura 12, a área de estudo possui também um conjunto de linhas de drenagem que escoam em direção à Albufeira.

### 1.3.3.5. SOLO

A região de Idanha-a-Nova, onde a Boomland se insere, pertence geologicamente ao Grupo das Beiras, caracterizada pela presença de granitos e por rochas mais antigas, nomeadamente xistos e grauvaques. Estes granitos, que foram originados pela fusão dos materiais da crosta terrestre, tendo posteriormente sofrido diferenciação magmática, pertencem ao maciço granítico de Idanha, com uma área aproximada de 120 km<sup>2</sup>. O mesmo, contacta com metassedimentos do Grupo das Beiras e com granitos do maciço de Castelo Branco, estando coberto parcialmente por sedimentos recentes de arcoses do Cenozoico [10].

Na Figura 13 é possível observar o panorama geológico da área de estudo, com maior pormenor na imagem da direita, onde facilmente se identifica a Albufeira de Idanha. Desta forma, verifica-se que predominam as rochas granodioríticas na margem direita da Albufeira, rochas que tiveram contribuição de materiais mais profundos, pertencentes ao manto terrestre. Esta formação contacta a Este com o Grupo das Beiras que incluem xistos e grauvaques formados no Neoproterozóico [10].

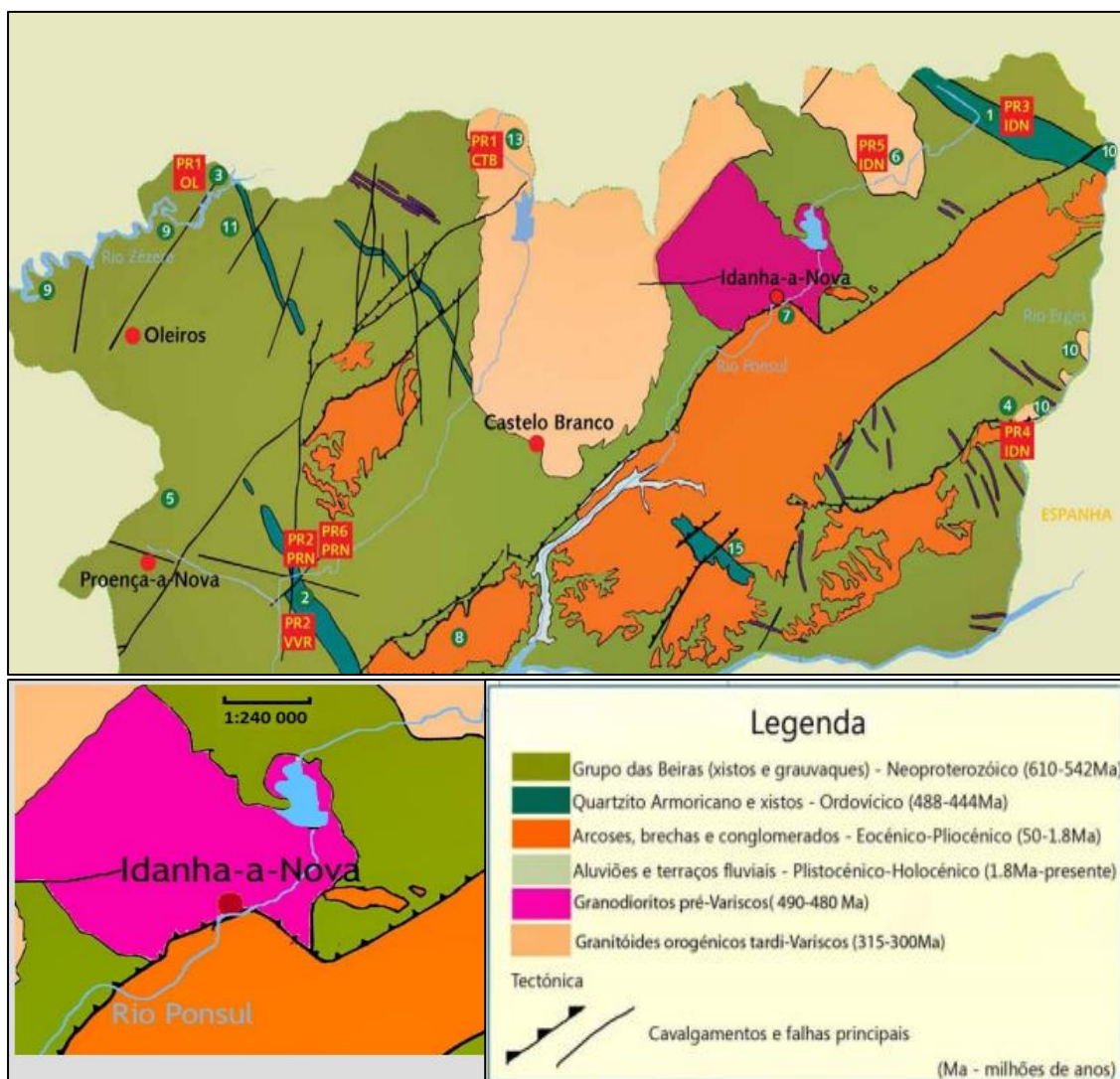


Figura 13 - Panorama geológico da área de estudo  
Adaptado de Naturtejo GEO.PARK [10]



É possível ainda classificar os solos área de estudo quanto à influência externa ou classificação zonal. Desta forma, é possível verificar, pela análise da Figura 11, que no concelho de Castelo Branco os Litossolos são dominantes, sendo algumas parcelas formadas por Luvisolos e Cambissolos. Na vila de Idanha-a-Nova, onde a Boomland se situa, há um domínio partilhado entre Luvisolos e Cambissolos [11].

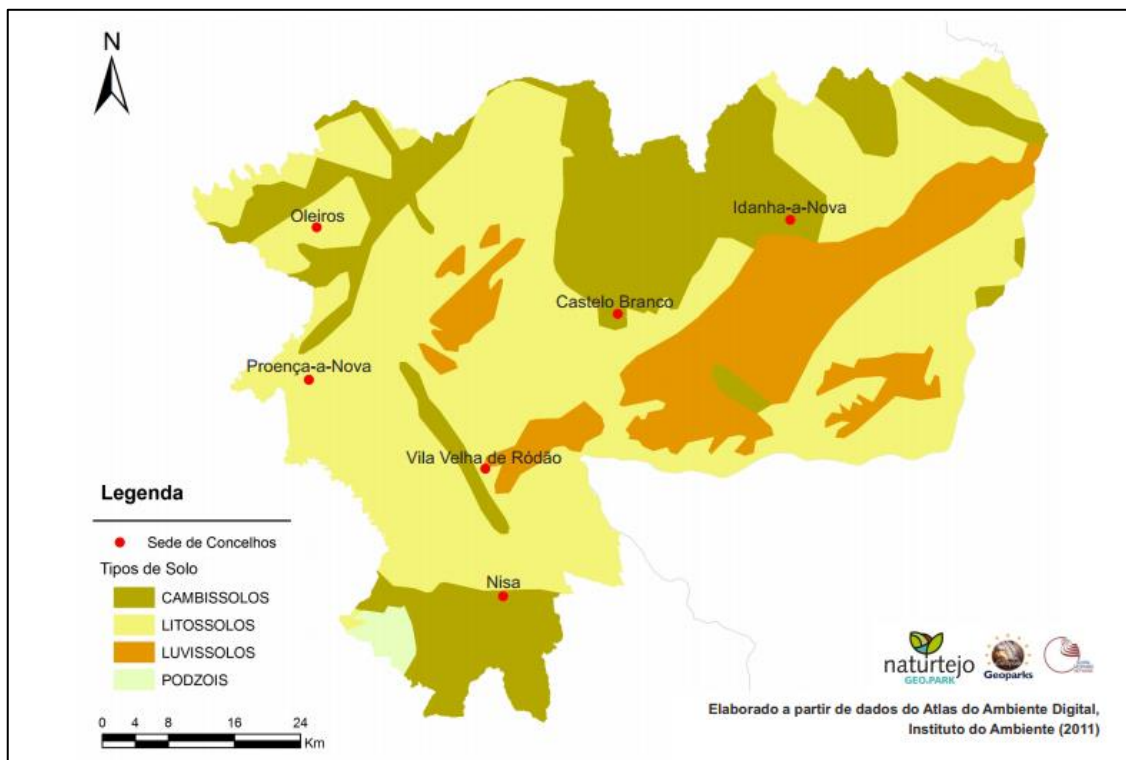


Figura 14 - Classificação dos solos do concelho de Castelo Branco [11]

Os Litossolos, pertencentes ao grupo de solos Azonais, derivam de rochas consolidadas, de espessura inferior a 10 cm, típicos de relevo inclinado [12]. São solos que apresentam um tipo de rocha mãe variável, caracterizados por serem poucos férteis. Os Litossolos abundam na zona Norte da propriedade [6].

Os Luvisolos são solos comuns em zonas planas, sem grandes declives, em regiões com um clima temperado fresco ou quente com alternância de estações secas e húmidas. São solos férteis de tom castanho no horizonte superficial, característicos de florestas húmidas e prados. São modernamente ácidos a neutros, com elevada saturação por bases, apresentando-se pouco profundos, com horizonte B textural (horizonte resultante da acumulação ou concentração absoluta ou relativa de argila decorrente de processos de eluviação e/ou formação *in situ*) [13].

Os Cambissolos são um grupo de solos pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente. A sua pedogénese pouco avançada é comprovada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, matizes mais vermelhos ou teores de argila superiores aos estratos subjacentes [14].

### 1.3.3.6. FAUNA E FLORA

No panorama biogeográfico, a área de estudo insere-se no Reino: Holártico, Região: Mediterrânica, Sub-região: Mediterrânica Ocidental, Província: Mediterrânica-Iberoatlântica, Subprovíncia: Luso-Extremadurense, Sector: Toledano - Tagano, Subsector: Hurdano-Zezerense Superdistrito Cacerense [5, 15].

No Superdistrito Cacerense a vegetação climatófila pertence à ordem do azinhal *Pyro bourgaenae Querceto rotundifoliae*, englobando caracteristicamente as comunidades Retamais do *Cytiso multiflori-Retametum sphaerocarpace*, comunidades arbóreas e arbustivas de *Quercus rotundifolia*, *Pyrus bourgaenae*, entre outras. Existem ainda comunidades permanentes tais como os freixiais (com *Fraxinus angustifolia*), salgueirais (com *Salix spp.*), amiais (com *Alnus glutinosa*) e tamujais (com *Securinega tinctoria*) [5, 15].

Na envolvência da Boomland, a nível do concelho, evidenciam-se os montados de sobre e azinho, pertencentes aos sistemas agro-silvo-pastoris e culturas extensivas que, por sua vez, estão integradas na zona do Parque Natural do Tejo Internacional. Esta zona é classificada como Zona de Proteção Especial do Tejo Internacional, Erges e Ponsul (ZPE), tendo um papel fulcral na preservação e conservação da fauna e flora que abundam na envolvência da bacia hidrográfica do Tejo [5, 16].



Figura 15 - Montados de sobre e azinho em Penamacor, Castelo Branco [16]

Segundo a Carta Ecológica, publicada no Atlas do Ambiente de 1984 pelo Instituto Hidrográfico, a área de estudo localiza-se na Zona Ecológica Fitoclimática, zona de nível basal (inferior a 400 m) caracterizada pela existência do zimbro vermelho, zambujeiro, sobreiro e azinheira. Na Boomland a espécie mais abundante é a azinheira enquanto, e quanto à vegetação arbustiva, a espécie mais representada é a esteva (*Cistus ladanifer*). É também muito frequente, nas estações da Primavera e Outono, crescerem cogumelos silvestres de vários tipos, alguns dos quais comestíveis [6].

A Albufeira de Idanha está também integrada no Geopark Naturtejo da Meseta Meridional, integrado no Sistema Nacional de Áreas Classificadas de Portugal e considerado território UNESCO. Este parque de 4600 km<sup>2</sup>, promovido pela entidade Naturtejo, assume-se como um território de elevado potencial turístico, combinando a proteção e promoção do património geológico com o desenvolvimento local sustentável. Nesta área, englobando parcelas nos concelhos de Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Penamacor, Proença-a-Nova, Nisa, Oleiros e Vila Velha do Rodão, toma-se como referência o património geológico, sendo a geoconservação, a educação e o geoturismo altamente promovidos [17].

A área de estudo caracteriza-se também por albergar uma vasta variedade de espécies de fauna selvagem, constituindo um importante e valioso ecossistema que deve ser preservado. Harmonizando a ocupação humana, tanto a nível de infraestruturas como a nível dos hábitos quotidianos, é possível obter uma estabilidade no funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos, incrementando a diversidade do património genético e permitindo a existência de indicadores biológicos que representam condições ecológicas específicas [6].

Desta forma, foram sendo observados ao longo dos anos espécies rupícolas como Cegonha-preta (*Ciconia nigra*), o Bufo-real (*Bubo bubo*), o Britango ou Abutre do Egipto (*Neophron percnopterus*), Grifo (*Gyps fulvus*), Águia de Bonelli (*Hieraaetus fasciatus*), Águia-real (*Aquila chrysaetos*) e o Chascopreto (*Oenanthe leucura*). Destacam-se, devido ao seu elevado grau de conservação, a Águia imperial (*Aquila Adalberti*), o Abutre negro (*Aegypius Monachus*) e a Ganga (*Pterocles Alchata*) [5, 18].

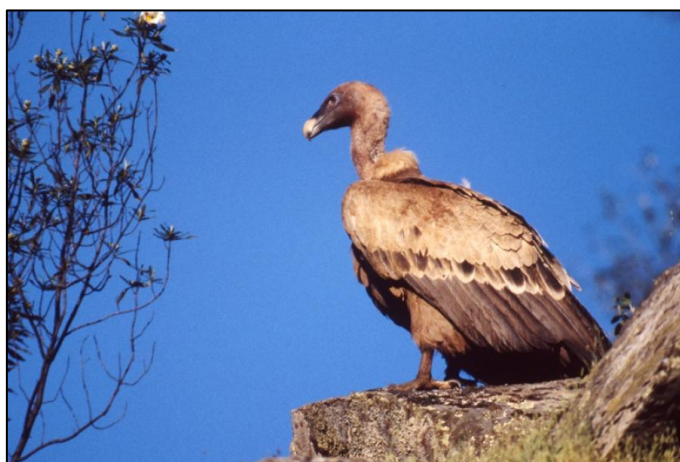


Figura 16 - Grifo avistado na região da Beira Baixa [18]

Abordando a caça como aspeto de interesse na gestão da área de estudo, são relativamente frequentes os aparecimentos da Lebre (*Lepus granatensis*), do Coelho (*Oryctolagus cuniculus*), da Raposa (*Vulpes vulpes*), do Saca Rabos (*Herpestes ichneumon*), do Javali (*Sus scrofa*) e da Perdiz (*Alectoris rufa*) [6].

### 1.3.3.7. OCUPAÇÃO DO TERRENO

Os 204 ha de propriedade pertencentes à Boomland, a área de estudo, encontram-se ocupados da seguinte forma [5]:

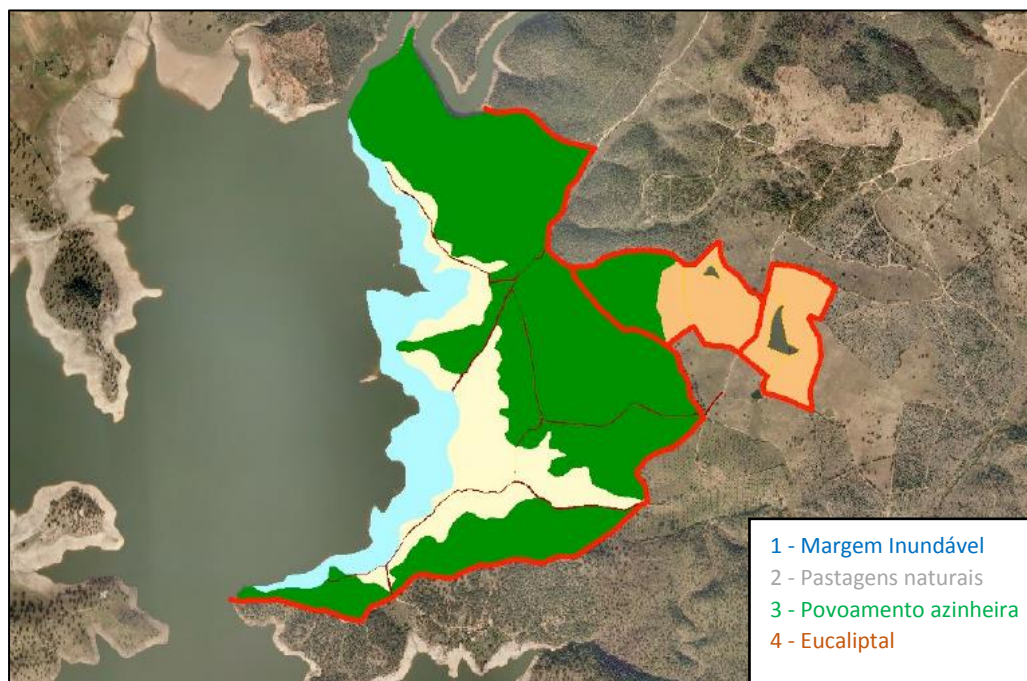
- Espaços florestais (142 ha), dos quais:
  - Povoamento de azinheira (122 ha)
  - Eucaliptal (20 ha)
- Pastagens naturais (32 ha)
- Área inundável (30 ha)

Os povoamentos de azinheira, de estrutura pura e densidade elevada, abundam na nas delimitações da propriedade, constituindo aglomerados florestais de copas cerradas nas zonas de declive mais acentuado. Com a intenção de preservar esta espécie, mas também como resultado do abandono dos campos de cultivo ou pastagens, a regeneração destes povoamentos dá-se de forma natural e espontânea.

Existem ainda matos e matagais, formando um sub-coberto copioso, constituído por espécies como o medronheiro, alecrim, tamujo ou lentisco, que, pela sua natureza, agravam o risco de incêndio na área de estudo. Consequentemente, há necessidade de efetuar o devido tratamento e manutenção destes povoamentos, procedendo-se a desbastes e podas sanitárias.

As pastagens naturais, correspondentes à área de incultos, predominam na margem da Albufeira e alongam-se até à zona de montado, mas também se encontram pontualmente nas redondezas dos eucaliptais.

As plantações de eucalipto, situadas na região mais afastada da Albufeira, ainda pertencente à área de estudo, merecem, apesar de mais deslocalizadas da zona dos eventos propriamente ditos, a devida atenção, requerendo o devido tratamento e limpeza, pelo risco que apresentam a nível de incêndio.



*Figura 17 - Ocupação do solo na área de estudo  
Adptado de EDRV – Território e Ambiente, LDA [5]*



### 1.3.4. CICLO DE ÁGUA RESIDUAIS

A água potável que é fornecida à Boomland, tanto para utilização e consumo durante os eventos como também no tempo restante pelo staff, é proveniente da rede pública disponibilizada pelo município, sendo depois armazenada em dois depósitos de abastecimento de água, um com cerca de 400 m<sup>3</sup> e outro com aproximadamente 300 m<sup>3</sup> de capacidade, possíveis de visualizar na Figura 18:



*Figura 18 - Depósito de armazenamento de água na área de estudo*

Na área de estudo existem outros pontos de água, como poços e charcas. A organização do evento aproveita e retira água de dois poços na Boomland, um deles dispõe de um engenho antigo (embora já não funcione, sendo a água extraída através de uma bomba mecânica) e outro com uma bomba solar, como se podem visualizar pela Figura 19. Através de uma plataforma flutuante é também extraída água da albufeira, sendo esta armazenada na área de estudo em depósitos semelhantes ao da Figura 18.

Estas águas (da albufeira e subterrâneas) são aproveitadas para regadio e assentamento de poeiras durante os meses de verão.



*Figura 19 - Poços situados na área de estudo (solar à esquerda; com engenho à direita)*

Uma vez que o número de pessoas a trabalhar nos eventos, tanto na fase de organização logística e administrativa como na construção das infraestruturas temporárias que os suportam, é muito variável, os consumos de água são muito inconstantes, tendo como pico a semana em que o Boom Festival ocorre. Nos dias anteriores, durante e depois da realização do Boom Festival, há cerca 1500 trabalhadores e 600 voluntários a trabalhar no evento, enquanto fora desse intervalo, o staff de organização logística e administrativa varia entre 10 e 20 pessoas [4].

O município, para além do abastecimento de água potável, recolhe também os resíduos sólidos urbanos gerados na Boomland e uma parte de águas residuais provenientes dos separadores de gorduras e sanitários. A contaminação pelo uso de tintas, óleos de motor, combustíveis, entre outros contaminantes é entregue à gestora de resíduos Correia & Correia.

Como não existe qualquer rede de esgotos, todo o sistema de saneamento passa pelas casas de banho compostáveis. As quase 350 WCs compostáveis utilizadas em toda a Boomland, não requerem qualquer volume de água ou aplicação de químicos, armazenando o composto sólido em fossas sépticas situadas sob a retrete propriamente dita. São sistemas de alta utilização aquando a realização do festival, estimando-se 20 a 30 pessoas por hora [4].

As fossas, com 1 m<sup>3</sup> de volume, promovem, com adição de determinados microrganismos eficientes, a digestão da matéria sólida (fezes e papel biodegradável), formando uma matriz sólida de volume reduzido, gases (metano, dióxido de carbono e óxidos nitrosos) e lixiviado.

O efluente líquido gerado vai filtrando graviticamente na fossa séptica, sendo conduzido até um depósito com capacidade de 20 m<sup>3</sup> que se encontra enterrado no solo. As casas de banho encontram-se normalmente agrupadas em séries de 6, possuindo ainda um sistema de arejamento de modo a extrair os gases e evitar odores.

Estima-se que se produzam cerca de 150000 L por festival de lixiviado proveniente dos sanitários compostáveis, havendo intenção de serem desenvolvidas formas de reutilização como fertilizante [4].



Figura 20 - WCs compostáveis na Boomland



No que diz respeito às águas cinzentas, representadas neste contexto pelas águas residuais geradas pela atividade dos chuveiros, lavatórios e restauração, estas são encaminhadas, após passagem por separador de gorduras, por um sistema coletor até ao Filtro Verde, que funciona como uma Estação de Tratamento de Águas Residuais. Esta instalação, com 4 fases de depuração, funciona como um sistema de biorremediação com recurso a plantas macrófitas. As águas cinzentas, depois de passarem pelo Filtro Verde, são armazenadas a jusante para posterior utilização em regadio, segundo a intenção da entidade organizadora do evento.

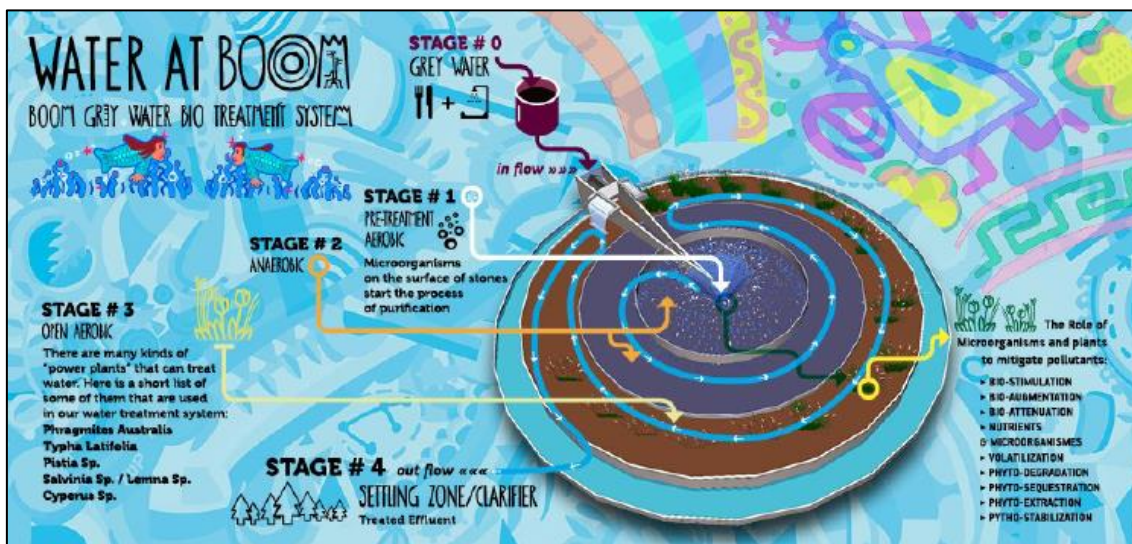


Figura 21- Esquematização do funcionamento do Filtro Verde [4]

De forma a reutilizar o efluente proveniente deste sistema na rega é necessário ter em consideração as contaminações abióticas provenientes da parte inerte do ecossistema, acarretando riscos como intoxicações crónicas e contaminação dos solos e de águas subterrâneas por infiltração [4]. O facto de existirem linhas de drenagem de água encaminhadas para a Albufeira torna ainda mais importante o bom manuseamento e controlo de águas potencialmente contaminadas.



Figura 22 - Filtro Verde

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## 2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho passa por elaborar uma solução de tratamento de águas residuais que sirva as atividades que decorrem na Boomland, mediante as suas características biofísicas e eventos promovidos. Uma vez definido todo o enquadramento da propriedade, almeja-se projetar um sistema natural de tratamento de águas residuais devidamente dimensionado que sirva as necessidades identificadas, nomeadamente:

- Relação custo/eficácia favorável;
- Adaptado às características do caso de estudo;
- Adequado à variabilidade dos caudais de água residual produzidos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

### 3. ESTADO DA ARTE

Eventos como os que ocorrem na Boomland, apesar de incorporarem, particularmente, uma enorme variedade de atividades culturais alternativas, contam também com uma forte aposta na componente musical, podem ser inseridos na categoria de «Festivais de Música».

Segundo um estudo sobre a avaliação do impacto ambiental da indústria ligada aos festivais de música no Reino Unido, a quantidade de resíduos sólidos que em média é produzido durante um festival é de 7,4 Kg/espectador. Se considerarmos que, em 2016, foram cerca de 2,1 milhões os frequentadores desses eventos, estaríamos a falar, caso nada se fizesse, na produção de cerca de 16000 Ton de resíduos em festivais portugueses [19].

É responsabilidade de qualquer organização de um evento deste tipo tentar promover um evento sustentável, reconhecendo os impactos negativos gerados e assumindo um compromisso para o melhoramento e mitigação dos mesmos. Os eventos promovidos na Boomland, apesar de se diferenciarem bastante do panorama geral que envolve os Festivais de Música, acarretam também impactos negativos, nomeadamente ao nível ambiental.

Além da ocupação física do terreno, tanto a nível de infraestruturas como pela presença das pessoas em si, um evento deste tipo pode originar variados impactos, como: poluição acústica, contaminação dos solos e aquíferos, produção de águas residuais e resíduos sólidos e ainda emissões de poluentes atmosféricos.

Relativamente à produção de águas residuais, aspeto mais relevante tendo em conta o tema deste trabalho, é fundamental gerir as mesmas de uma forma responsável e sustentada, uma vez que a situação engloba milhares de utilizadores num espaço e tempo reduzidos. Como tal, há uma elevada necessidade de água e menor disponibilidade hídrica [20].

A água, recurso fundamental para a vida de todos os organismos, deve ser utilizada sem comprometer a continuidade hídrica dos cursos de água e as necessidades dos ecossistemas.

Classificam-se as águas quanto ao seu uso e destino, como forma de enquadramento da gestão dos recursos hídricos ao longo deste trabalho [20, 21]:

- **Água Azul** – água líquida em movimento acima e abaixo do solo, englobando as águas subterrâneas e as águas superficiais;
- **Água Verde** – humidade presente nos solos proveniente da infiltração da água da chuva, disponível para processos de absorção e evapotranspiração;
- **Água Branca** – fração não produtiva da água verde, evaporando-se diretamente para a atmosfera;
- **Água Cinzenta** – qualquer água residual (não industrial) originada a partir de processos domésticos como lavar loiça, roupa ou banhos. Tem potencialidade para ser reutilizada para outros fins;
- **Água Negra** – águas fortemente contaminadas com material fecal e urina, proveniente de instalações sanitárias. Possuem elevada carga orgânica e presença de sólidos em suspensão que, aliada à contaminação fecal, torna a sua reutilização sem um tratamento severo praticamente impossível.

É neste âmbito que o saneamento cumpre um papel fulcral. Num mundo cada vez mais industrializado e com o aumento exponencial da população, o saneamento básico pobre tem-se revelado uma grande problemática, ameaçando a saúde e qualidade de vida das populações, sobretudo das mais pobres [22].

No sector das águas, o saneamento básico abrange os serviços de abastecimento de água para consumo e a recolha, transporte, tratamento e descarga de águas residuais urbanas [20, 23].

Em Portugal, apesar do panorama ter melhorado significativamente, 5% das casas não tem pelo menos uma infraestrutura de saneamento básico, sendo a falta de ligação às redes públicas de água ou esgotos mais preocupante no Norte e em zonas rurais [24, 25].

A abordagem do saneamento centralizado moderno (ETARs, ETAs, etc), fomentada pela procura de uma melhor higiene e saúde pública nos maiores centros urbanos de países mais desenvolvidos, é de facto mais eficaz, mas não é suportada em todos os locais. Os custos associados a estas tecnologias e infraestruturas são elevados e são normalmente projetados para redes de utilização intensiva. Como tal, muitas comunidades de países em desenvolvimento não são capazes de suportar estes sistemas economicamente ou simplesmente não é um investimento que valha a pena, quando a rede de utilizadores é de pequena escala [22].

É neste panorama que surgem os Sistemas de Tratamento de Águas Residuais Descentralizados, também designados por Sistemas Naturais de Tratamento de Águas Residuais. Entre eles destacam-se dois grupos: as “Constructed Wetlands” ou Leitos de Macrófitas e a Lagunagem ou Lagoas de Estabilização de Águas Residuais.

Os leitos de macrófitas são sistemas robustos, *low tech*, de investimento e manutenção reduzidos que são projetados e construídos para utilizar processos naturais que envolvem água, vegetação subaquática, solos e grupos microbianos, de modo a tratar águas residuais. Estão aptas a tratar vários tipos de efluentes, imitando, num ambiente controlado, os processos que ocorrem em lagoas naturais [22, 26].

A lagunagem passa pelo tratamento de águas residuais utilizando processos biológicos e naturais, beneficiando da elevada área superficial e o longo tempo de retenção hidráulica para dispensar o alto consumo de energia elétrica que é característico dos processos convencionais de tratamento de águas residuais. Apesar de naturais, são sistemas de alta performance, de custo reduzido (tanto capitais como energéticos) que não necessitam de uma manutenção elevada, sendo especialmente adequados a climas quentes [27].



### 3.1. WETLANDS

#### 3.1.1. WETLANDS NATURAIS

*Wetlands* ou lagoas naturais, são porções de terreno naturais que estão húmidas durante grande parte ou a totalidade do ano devido à sua localização (Figura 23). Dependendo da vegetação que figura nestes locais, mas também do enquadramento geográfico e das condições hídricas, são designadas de pântano, sapal ou lamaçal. Podem ser encontradas em depressões topográficas ou em áreas com declives acentuados e solos pouco permeáveis [28].

As *wetlands* têm propriedades que as tornam únicas relativamente aos ecossistemas terrestres, aproveitando a vasta quantidade de água disponível para se destacarem como os ecossistemas mais produtivos biologicamente. Devido a esta elevada taxa de atividade biológica, as *wetlands* conseguem transformar grande parte dos poluentes presentes na generalidade das águas residuais em produtos biológicos ou nutrientes, que podem ainda ser utilizados para outras atividades biológicas. Desta forma, estes ecossistemas são frequentemente chamados de “Rins do Planeta Terra”, filtrando os poluentes presentes nos fluxos aquáticos e impedindo a contaminação de lagos ou oceanos [29, 30].

Historicamente, as lagoas naturais têm vindo a ser utilizadas no tratamento de águas há vários séculos como local conveniente de descargas de esgoto. Contudo, eram vistas como um local de armazenamento e não de tratamento. As primeiras experiências no âmbito das *Wetlands* surgiram na década de 50 do século XX, na Alemanha, com a utilização de vegetação macrófita para a remoção de poluentes das águas [26, 31].



Figura 23 - *Wetlands naturais* [30]

### 3.1.2. CONSTRUCTED WETLANDS (CWs)

Em virtude do estudo das propriedades e funcionamento nas *wetlands* naturais, desenvolveram-se as *constructed wetlands* ou leitos de macrófitas, sistemas engenhosamente projetados para tratar águas residuais otimizando características específicas que são observadas em zonas húmidas naturais.

Entre os sistemas de tratamento de águas residuais, são os economicamente menos dispendiosos em termos de operação e manutenção e, uma vez que utilizam fluxos de energia naturais, têm uma pegada ecológica muito reduzida comparativamente aos sistemas de tratamento convencionais [28].

Adicionalmente, são sistemas que se integram facilmente em qualquer paisagem sendo esteticamente agradáveis e de design adaptável, sem comprometer a sua eficiência, de modo a criar um espaço recreativo, uma vez que os odores não costumam ser uma problemática [32].

Uma CW é constituída, numa primeira aproximação geral, por uma bacia pouco profunda preenchida com um substrato filtrante, normalmente areia ou brita, e vegetação emergente subaquática. A água residual entra na bacia e escoar superficialmente ou através do substrato, sendo descarregada através de uma estrutura que controla a profundidade no sistema [22]. Mediante o grau de impermeabilização do terreno em que o sistema é inserido, pode ser também necessário utilizar uma camada impermeabilizadora sintética na base da bacia, de modo a evitar a contaminação das águas subterrâneas.

As CWs possuem uma capacidade tampão elevada para flutuações ao nível da carga orgânica e hidráulica, provando ser sistemas robustos e estáveis, mesmo com variações climáticas e sazonais [33].

No entanto, este tipo de tecnologias também apresenta algumas desvantagens uma vez que normalmente requerem grandes porções de terreno disponível para a sua implementação, tornando a sua aplicação economicamente viável apenas quando existe terreno disponível a um custo acessível [22].

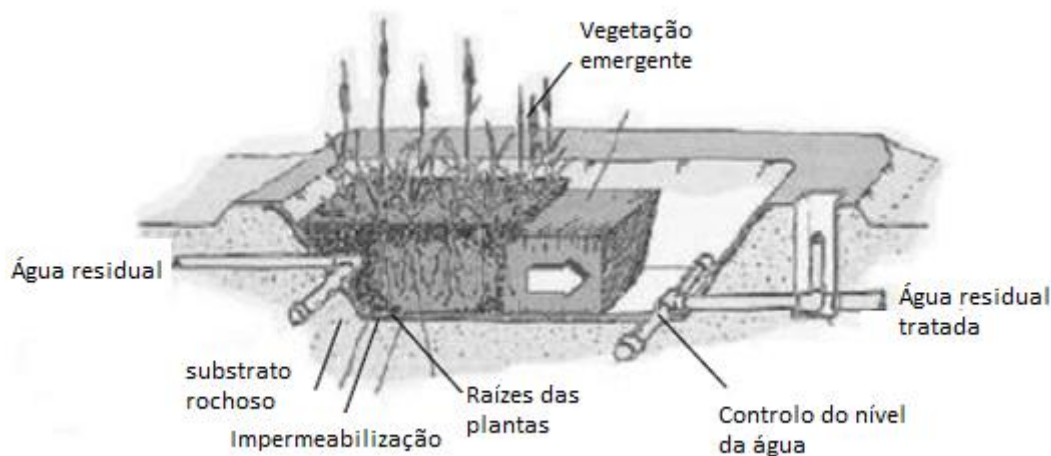


Figura 24 - Representação dos componentes constituintes de uma *constructed wetland*  
Adaptado de EPA [32]

### 3.1.2.1. TIPOS DE CWs

Estes sistemas de tratamento de águas residuais podem ser construídos em diferentes modos hidrológicos, dividindo-se, numa primeira fase, quanto ao tipo de fluxo em dois tipos: fluxo superficial e fluxo subsuperficial. Dentro dos sistemas com fluxo superficial, há a divisão em três tipos distintos, com base no tipo de vegetação usada: vegetação flutuante, vegetação submersa e vegetação emergente. Relativamente às *constructed wetlands* com fluxo subsuperficial, estas podem se dividir em fluxo horizontal ou fluxo vertical. A Figura 25 ilustra os tipos de CWs [28]:

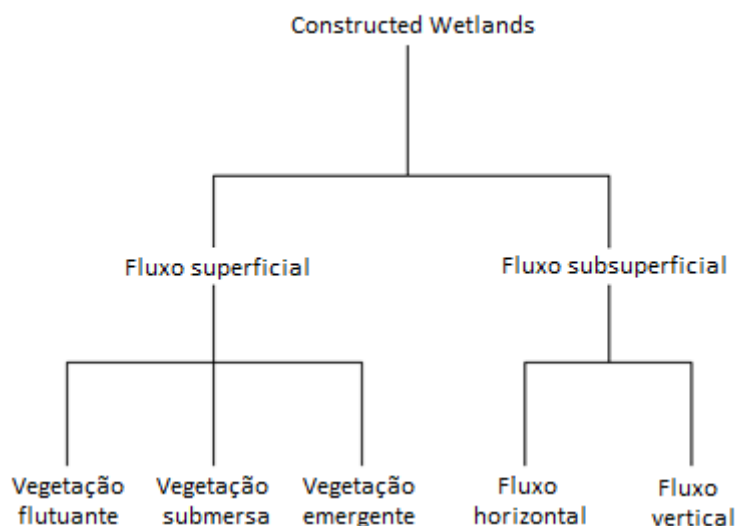


Figura 25 - Tipos de constructed wetlands  
Adaptado de Treatment Wetlands [28]

No panorama atual aliado ao desenvolvimento tecnológico deste tipo de tecnologia, os seguintes tipos de CWs são mais amplamente usados [28]:

- **Fluxo superficial** – CWs com áreas de águas livres, similares a zonas pantanosas em aparência;
- **Fluxo Subsuperficial Horizontal** – CWs que utilizam uma camada filtrante de brita com vegetação do tipo macrófita plantada. A água é mantida abaixo da superfície da camada filtrante e escoar horizontalmente desde a entrada no sistema até à saída.
- **Fluxo Subsuperficial Vertical** – CWs que distribuem a água residual através da superfície da camada filtrante, composta por brita ou areia e vegetação macrófita plantada. A água é tratada conforme vai percolando através da zona radicular das plantas.

Neste grupo principal, há a possibilidade de combinar uma vasta variedade de características relativamente à configuração, substrato, vegetação e padrões de escoamento, bem como conjugar vários tipos de constructed wetlands, formando sistemas híbridos que exploram determinadas vantagens de cada tipo [28, 34].

### 3.1.2.1.1. CWs COM FLUXO SUPERFICIAL

Este tipo de CWs é constituído por áreas de águas livres, vegetação flutuante e plantas emergentes, inevitavelmente consequentes da configuração do sistema ou intencionalmente adicionadas [28]. Tipicamente, são bacias ou sequências de bacias pouco profundas, com 20 a 30 cm de solo enraizado e 20 a 40 cm de água, cobertas pela densa vegetação que ocupa grande parte da superfície [26]. Na Figura 26 encontram-se representados os elementos básicos deste tipo de sistema de tratamento de águas.

A água entra no sistema, escoar através da bacia de tratamento e, por processos de sedimentação, filtração, oxidação, redução, adsorção e precipitação vai sendo gradualmente tratada [28].

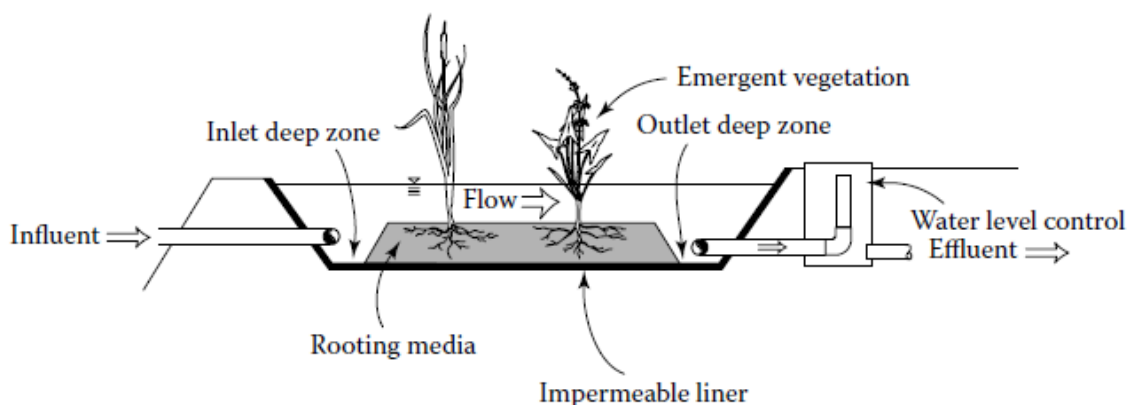


Figura 26 - Configuração de uma constructed wetland com fluxo superficial [28]

São sistemas eficazes na remoção de poluentes orgânicos através de degradação microbiológica como também na decantação de partículas coloidais. Visto que o efluente de entrada no sistema se espalha numa grande porção de terreno, a sua velocidade é reduzida e é desenvolvido um perfil de escoamento laminar. Por este fator e aliado à ocorrência de processos de sedimentação e filtração com recurso à vegetação do ecossistema, os sólidos suspensos são igualmente removidos [26, 35].

Numa primeira fase, na coluna de água, dá-se a remoção do azoto por nitrificação, seguido da subsequente desnitrificação, que ocorre na camada de detritos. Os processos fotossintéticos das algas promovem a volatilização da amónia em condições de pH mais elevados. Nestes ecossistemas, a retenção do fósforo é normalmente reduzida devido ao contacto limitado da água com as partículas do solo que adsorvem e/ou precipitam o fósforo [26].

São sistemas raramente utilizados como processos de tratamento secundário, uma vez que há a potencial exposição de agentes patogénicos a humanos. São frequentemente utilizados no tratamento avançado de efluentes provenientes de processos de tratamento secundários ou terciários, como sistemas de lamas ativadas ou lagoas de tratamento [28].

Por serem os sistemas mais semelhantes às *wetlands* naturais, atraem uma grande variedade de fauna selvagem, nomeadamente insetos, aves, peixes e muitos outros mais. Devido a este facto, são os sistemas que melhor suplementam a função de tratamento de águas com outros



benefícios, tanto como uso recreativo para nós humanos como para as inúmeras populações de vida animal que subsistem nestes ecossistemas [28, 36].



*Figura 27 - Constructed wetland com fluxo superficial [36]*

Este tipo de CW adapta-se bem em todos os climas, mesmo nos mais frios. Contudo, a formação de gelo pode dificultar a operação do sistema nos meses de inverno ou afetar a eficiência de alguns processos, uma vez que o gelo, quando cobre a superfície da água, faz com que a transferência de oxigénio da atmosfera diminua, afetando os processos dependentes da sua disponibilidade. No entanto, no que diz respeito à remoção de sólidos suspensos, o processo é mais eficaz sob a camada de gelo do que em condições climáticas de verão. Normalmente, é mais eficiente armazenar a água durante o inverno e tratá-la nos meses mais quentes [28].

Pela sua habilidade de lidar com variações no nível da água e com fluxos impulsivos, são sistemas praticamente exclusivos no tratamento de águas pluviais urbanas, industriais ou provenientes da agricultura. São ainda frequentemente escolhidas para o tratamento de águas residuais mineiras e lixiviados, mas também usadas na remediação de águas subterrâneas [28].

Resumidamente, as *constructed wetlands* com fluxo superficial realizam o tratamento de águas residuais de uma forma passiva, minimizando a necessidade de equipamento mecânico, energia e operadores especializados para o seu funcionamento. São sistemas economicamente acessíveis de implementar, operar e manter, apresentando bons resultados na remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e metais, com um tempo de retenção razoável. No entanto, caso a remoção de nutrientes como o fósforo ou o azoto seja requerida, a área necessária para a implementação destes sistemas pode ser substancial. Ademais, apesar de conseguirem remover compostos fosfatados, metais e orgânicos mais persistentes das águas, estes ficam ligados aos sedimentos da *wetland*, acumulando-se ao longo do tempo [35].

### 3.1.2.1.2. CWs COM FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

As CWs com fluxo subsuperficial horizontal consistem em bacias impermeabilizadas na base, sobre a qual é colocada um substrato filtrante composto por rochas ou brita e vegetação própria de zonas húmidas/lagoas. Caso a geologia do local onde se pretende implementar a unidade seja favorável, ou seja, constituída por um tipo de rocha com um grau suficiente de impermeabilização, a bacia pode não necessitar de impermeabilização sintética, como geotêxteis. São sistemas normalmente projetados para tratar efluentes primários, antes de serem dispersos no solo ou descarregados para águas superficiais, como lagoas [28].

A água residual é alimentada na entrada, escoando sob a superfície da bacia através do meio poroso e em volta das raízes e rizomas das plantas de forma mais ou menos horizontal até à zona de saída, onde é recolhida e descarregada. Dado o facto da água não estar exposta à superfície durante o processo de tratamento, o risco da exposição a agentes patogénicos é reduzido, evitando também o aparecimento de populações de mosquitos. Nestas camadas filtrantes, os poluentes são removidos por degradação microbiológica e processos físico-químicos numa rede de zonas aeróbicas, anóxicas e anaeróbicas, estando as zonas aeróbicas restritas às áreas nas imediações das raízes onde o oxigénio se transfere para o substrato [26, 37, 38].

Este tipo de sistema de tratamento de águas residuais consegue remover eficazmente poluentes orgânicos como sólidos suspensos totais (SST),  $\text{CBO}_5$  e  $\text{CQO}$ , no entanto, devido à transferência limitada de oxigénio dentro do sistema, a remoção de nutrientes como o azoto é limitada. O principal mecanismo para a remoção do azoto é a desnitrificação enquanto que a remoção do fósforo é feita por reações de troca usando ligantes que, neste tipo de Wetlands, não tem grande eficiência. Os SST são retidos com grande eficiência essencialmente por processos de sedimentação e filtração [22, 26].

Na Figura 28 encontra-se uma representação esquematizada de uma *constructed wetland* com fluxo subsuperficial horizontal [22]:

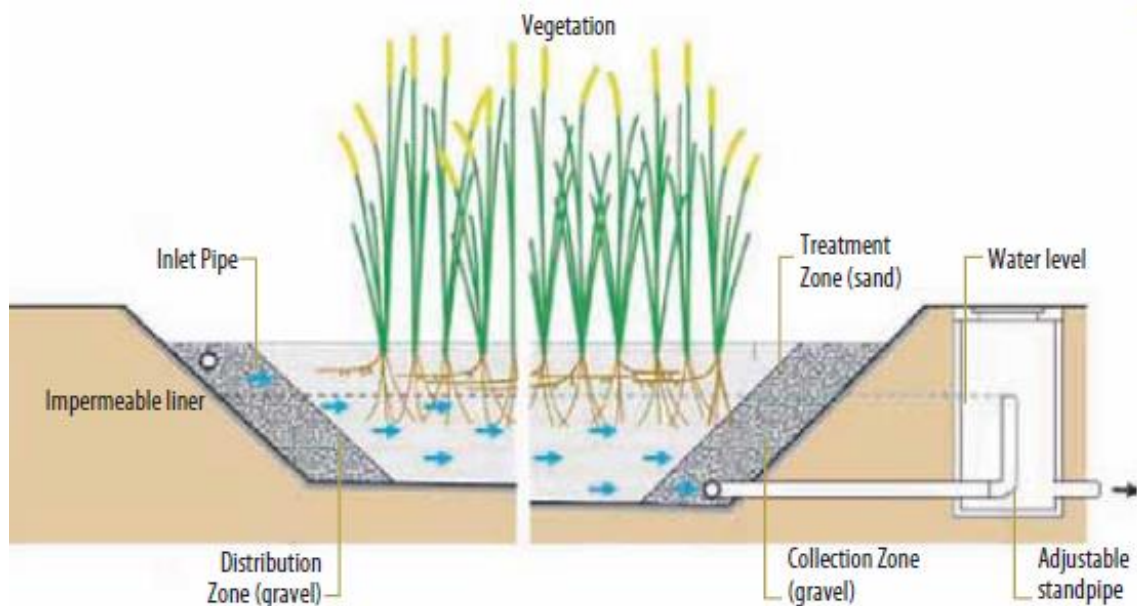


Figura 28 - Configuração de uma CW com fluxo subsuperficial horizontal [22]

A vegetação tem um papel fulcral nestes ecossistemas uma vez que disponibiliza o substrato (as raízes e os rizomas) para o crescimento de bactérias, para a difusão de oxigénio das raízes das plantas para a rizosfera e a captação de nutrientes. São ainda responsáveis pela insolação da camada superficial da bacia em regiões frias e temperadas [22, 39]. Por esta razão, são sistemas mais adequados a climas mais frios do que as CWs com fluxo superficial. No entanto não proporciona os usos suplementares que estas últimas possibilitam [28].

Embora os custos associados à manutenção continuem a ser reduzidos, comparativamente com as CWs com fluxo superficial, este tipo de sistemas é geralmente mais caro de implementar. Por esta razão, e pela problemática do espaço necessário, estes sistemas recebem caudais de água menores [28].

Estas unidades têm vindo a ser usadas no tratamento de águas residuais domésticas e municipais pelo mundo inteiro, embora atualmente já sejam também utilizadas no tratamento de efluentes industriais, lixiviados provenientes de aterros ou mesmo efluentes de atividades ligadas à agricultura [26].

Na Figura 29 é possível observar uma CW com fluxo subsuperficial horizontal [40]:



*Figura 29 - CW com fluxo subsuperficial horizontal na República Checa [40]*



### 3.1.2.1.3. CWs COM FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL

As CWs com fluxo subsuperficial vertical são constituídas por uma bacia plana impermeabilizada na base (usa-se camada impermeabilizante sintética caso o solo seja demasiado permeável), sobre a qual se introduz uma camada areia/brita plantada com vegetação adequada. A água residual é alimentada no sistema usando um tubo perfurado que se estende pelo topo da bacia. Depois de entrar no sistema, a água atravessa verticalmente a camada filtrante onde é tratada e é recolhida na base na bacia por uma rede de drenagem. Uma esquematização deste tipo de sistemas é representada na Figura 30 [22]:

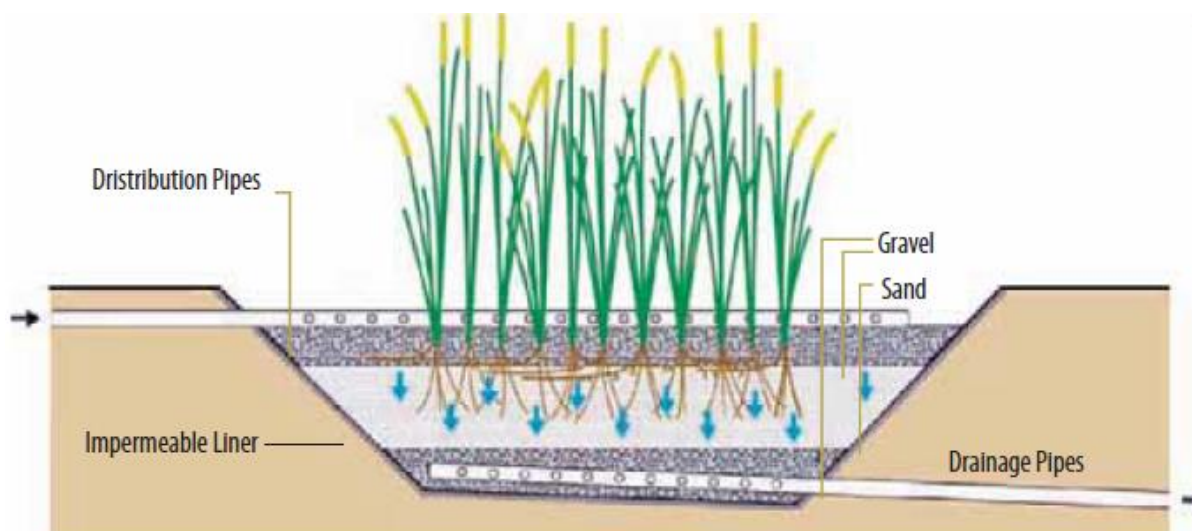


Figura 30 - Configuração de uma CW com fluxo subsuperficial vertical [22]

A água é alimentada ao sistema em grandes remessas, percolando seguidamente através do meio poroso (areia ou brita) sendo a nova remessa aplicada apenas quando a camada filtrante estiver completamente seca. É um sistema que funciona, portanto, de forma intermitente. Esta condição promove a difusão de oxigénio do ar para a camada filtrante, tornando este sistema muito mais aeróbio que o sistema com fluxo horizontal, com condições adequadas para ocorrer a nitrificação [26].

De modo a criar sequências de tratamento envolvendo nitrificação-desnitrificação, estes sistemas podem ser combinados com CWs com fluxo superficial ou fluxo subsuperficial horizontal, formando sistemas híbridos (Figura 31) [28]:

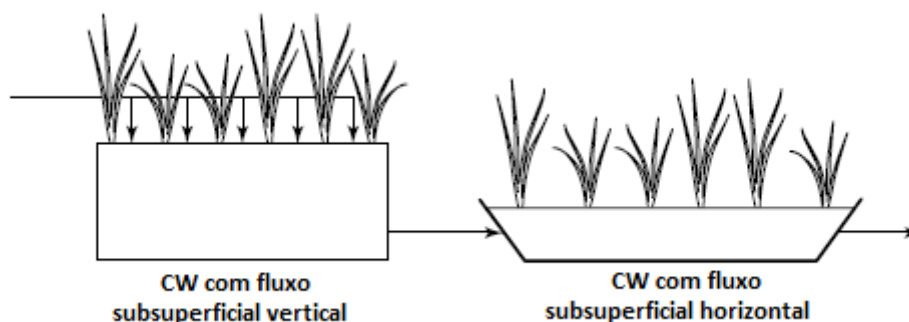


Figura 31 – Possível configuração de uma CW híbrida  
Adaptado de Treatment Wetlands [28]



As CWs com fluxo subsuperficial vertical apresentam elevadas eficiências na remoção de SST e poluentes orgânicos, no entanto a remoção de fósforo é de escala reduzida a não ser que seja implementado um meio filtrante com elevada capacidade de sorção [26, 41].

A capacidade destes sistemas oxidarem a amónia possibilitou o seu uso no tratamento de efluentes com níveis de amónia superiores ao que é normalmente verificado em águas residuais domésticas ou municipais. Graças ao processo de nitrificação, é possível tratar efluentes provenientes do processamento de alimentos ou mesmo lixiviado de aterros [28].

Em França, nos anos 80, surgiu um sistema variante envolvendo CWs com fluxo vertical, que recebe água residuais brutas, sem qualquer tipo de pré-tratamento, diretamente no sistema. Este sistema é normalmente constituído por dois ou mais estágios de unidades com fluxo vertical, entrando o efluente bruto no primeiro estágio de modo a permitir um melhor manuseamento das lamas, comparativamente a um digestor convencional. O efluente segue depois para as fases seguintes para complementar o tratamento, ocorrendo a nitrificação [42].

Comparativamente com CWs com fluxo subsuperficial horizontal, estes sistemas apresentam melhores eficiências de tratamento, ocupando aproximadamente metade do espaço. Por outro lado, necessitam de intervalos de carregamento, normalmente entre 4 a 8 vezes por dia. Tomando este fator em consideração, requerem mais cuidado quando são projetados, enquanto que CWs com fluxo subsuperficial horizontal recebem água continuamente [34].

Na Figura 32 é possível visualizar um exemplo de uma Constructed Wetland com fluxo subsuperficial vertical [43, 44]:



*Figura 32 - CW com fluxo subsuperficial vertical em Pazo de Señorans, Galicia, Espanha*

### 3.2. LAGUNAGEM

O tratamento de águas residuais em lagoas de estabilização de águas residuais ocorre em largas bacias aquáticas de pouca profundidade confinadas por taludes (Figura 33 [45]). A água que entra nestes sistemas é tratada através de processos naturais envolvendo algas e microrganismos, cuja atuação é fortemente influenciada pelo clima, luz solar ou mesmo o vento [43, 46].

Este tipo de tratamento caracteriza-se pela simplicidade e flexibilidade da sua operação, sendo sistemas relativamente fáceis de construir e gerir, que suportam grandes variações de fluxo e conseguem produzir um efluente purificado semelhante ao obtido nos sistemas convencionais de tratamento de água, acarretando um custo muito mais reduzido. Este fator torna esta tecnologia uma opção extremamente adequada a países em desenvolvimento, locais onde normalmente o preço do terreno é muito reduzido [47].

São sistemas que começaram a ser usados no tratamento de águas residuais há mais de 3000 anos, sendo atualmente mais comuns na Europa para servir pequenas comunidades e projetados em grande escala na Nova Zelândia, Austrália e África [46, 47].

Pela sua flexibilidade, são sistemas aptos a tratar uma grande variedade de águas residuais, desde esgoto doméstico, efluentes industriais ou agrícolas, caso contenham contaminantes biodegradáveis. São funcionais em vários climas, embora apresentem melhores resultados em locais com temperaturas mais elevadas [47, 48].

As lagoas de estabilização de águas residuais podem ser usadas também de modo combinado com outras unidades de tratamento de águas residuais, como leitos de macrófitas, filtros rochosos ou unidades de pré-tratamento. É também apanágio da quase totalidade dos processos de tratamento por lagunagem serem usados sistemas de lagoas em série, variando o tipo de lagoas e suas características. A eficiência destes sistemas está diretamente ligada ao número e tipo de lagoas utilizadas [47].



*Figura 33 - Sistema de Lagoas de Estabilização de Águas Residuais em Arcadia, Wisconsin*

Os mecanismos de tratamento que ocorrem neste tipo de lagoas incluem decantação, oxidação biológica por bactérias, oxigenação por algas e vento, decomposição anaeróbia, evaporação, destruição fotoquímica e absorção de nutrientes por plantas aquáticas. A composição da comunidade biológica numa lagoa de tratamento de águas residuais é determinada pela carga orgânica aplicada, pelas condições meteorológicas e pelo tempo de retenção hidráulica [48].

Desta forma, o tratamento por lagunagem consegue reduzir as concentrações de  $\text{CBO}_5$  e sólidos suspensos totais, como também o número de coliformes fecais, de modo a cumprir os parâmetros de qualidade da água requeridos [47].

Existem três tipos principais de lagoas de estabilização de águas residuais [46]:

- Lagoas Anaeróbias
- Lagoas Facultativas
- Lagoa de Maturação (aeróbias)

Os dois primeiros tipos de lagoas são concebidos maioritariamente para a remoção de  $\text{CBO}_5$  e as lagoas de maturação são altamente eficazes na remoção de bactérias fecais e menos eficientes na remoção de alguns nutrientes como fósforo e azoto.

Estes três tipos diferentes de lagoas são normalmente combinados em série, como já referido anteriormente. Deste modo, nas aplicações práticas destes sistemas cada série de lagoas começa normalmente com uma lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa e, dependendo da qualidade do efluente solicitada, seguida de uma ou mais lagoas de maturação ou alternativas como leitos de macrófitas ou filtros rochosos [27].

Na Figura 34 é possível observar a esquematização típica de uma sistema de lagoas de estabilização [43, 49]:

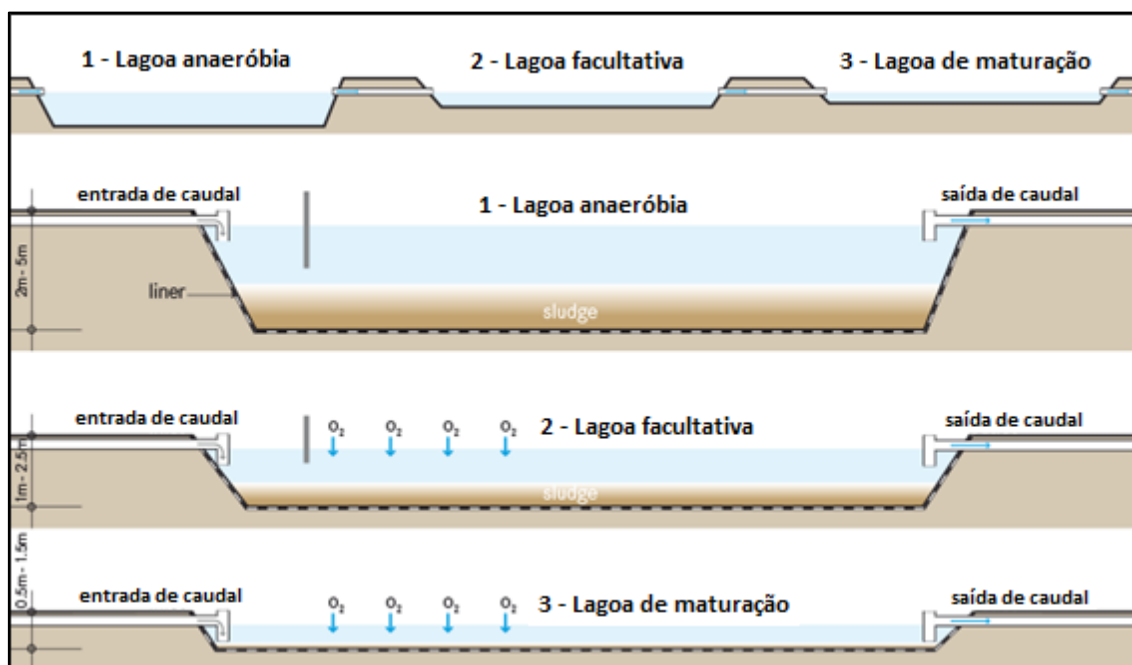


Figura 34 - Esquematização de um sistema típico de lagoas de estabilização de águas residuais  
Adaptado de *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* [43, 49]

Em comparação com os sistemas convencionais de tratamento de águas residuais, a lagunagem apresenta vantagens como [46, 47]:

- Baixos custo de construção e operação;
- Necessitar de pouca ou nenhuma energia;
- Flexível com flutuações de fluxo;
- Apresentar eficiência elevada quando o dimensionamento é adequado;
- Longo tempo de retenção hidráulico resulta num sistema robusto e resiliente a picos de carga hidráulica e orgânica;
- Operação fácil;
- Pouca adição de químicos;
- Não ser necessário remover lamas e bio sólidos frequentemente.

No entanto, estes sistemas também apresentam algumas desvantagens, entre as quais [46, 47]:

- Produção de odores quando o sistema não é bem dimensionado;
- Requerer normalmente grandes porções de terreno;
- Se as bacias não forem impermeabilizadas ou o solo não tiver um grau de impermeabilização natural suficiente, pode haver contaminação das águas subterrâneas devido a fugas da água residual;
- Possíveis problema devido a sólidos suspensos, nomeadamente algas;
- Proliferação de espécies vegetais e animais não desejáveis.

### 3.2.1. LAGOAS ANAERÓBIAS

As lagoas anaeróbias são por norma a primeira etapa de tratamento num sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem, sendo utilizadas como bacia de sedimentação para efluentes brutos (ou depois de passarem por etapa de pré-tratamento) [48].

A profundidade deste tipo de lagoas varia normalmente entre os 2 e os 5 m, recebendo elevadas cargas orgânicas com tempos de retenção reduzidos, fazendo com que não haja praticamente qualquer oxigénio dissolvido no sistema e por consequência pouca ou nenhuma quantidade de algas. A remoção de  $\text{CBO}_5$  nestas lagoas é alcançado através da sedimentação dos sólidos suspensos e da sua consequente digestão anaeróbia na camada de lamas que se origina no fundo da bacia. No fundo, são sistemas que funcionam como tanques séticos [46].

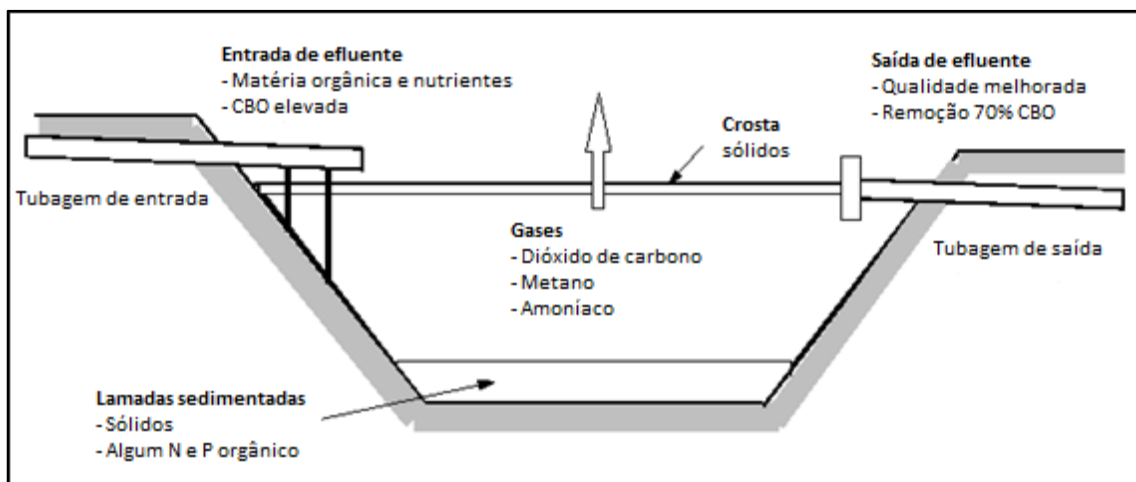
Além de esgoto doméstico e municipal, estes sistemas podem receber também águas residuais industriais que podem conter compostos tóxicos ou metais pesados. Uma vez que estes compostos são nocivos para as algas, que são fundamentais nos processos de tratamento, metais pesados são precipitados na forma de sulfuretos e vários compostos tóxicos (como o fenol) são degradados neste tipo de lagoas. Compostos flutuantes como óleos, gorduras e escórias atuam de forma prejudicial em lagoas que utilizam algas, bloqueando a luz solar necessária à sua fotossíntese. Mais uma vez, as lagoas anaeróbias retêm estes compostos [46].

Em lagoas anaeróbias, bactérias produtoras de ácidos convertem matéria orgânica em ácidos voláteis, dióxido de carbono, água e azoto; enquanto bactérias fermentadoras de metano degradam ácidos e outros produtos, resultando na libertação de gás metano,  $\text{CO}_2$ , sulfato de hidrogénio, alcalinidade e água. Compostos como o sulfato de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) são responsáveis pelos odores causados por estas lagoas. De modo a reduzir a intensidade dos odores, é hábito promover a recirculação de água de lagoas a jusante deste tipo de lagoas (pode ser uma lagoa facultativa ou aeróbia) [47].

Devido às quantidades consideráveis de gás metano originadas nestas lagoas, principalmente quando recebem efluentes industriais ou agrícolas, é também prática comum dimensionar estas lagoas para a produção de biogás. Implementando a cobertura adequada nas lagoas, é possível recuperar o metano para a produção de energia, funcionando de modo semelhante a digestores anaeróbios convencionais equipados com cobertura e meios de agitação. A cobertura aplicada nesta situação serve também para conter os odores que se fazem sentir [46, 48].

O efluente à saída destes sistemas requer, normalmente, tratamento adicional antes de ser descarregado [47].

Na Figura 35 é possível observar a representação de uma lagoa anaeróbia e os processos que nela ocorrem [50]:



*Figura 35 - Processos que ocorrem numa lagoa anaeróbia  
Adaptado de Water Treatment in Sewage Treatment [50]*



### 3.2.2. LAGOAS FACULTATIVAS

As lagoas facultativas são o tipo mais comum de lagoa no tratamento de esgoto municipal, podendo ser designadas de lagoas de oxidação ou lagoas fotossintéticas. A sua profundidade varia usualmente entre 1 e 2,5 m (em determinados casos podem atingir profundidades superiores) e o seu tempo de retenção pode variar entre 5 e 50 dias em climas quentes ou entre 90 e 180 em climas frios [47].

Estas lagoas podem dividir-se em dois tipos: lagoas facultativas primárias e lagoas facultativas secundárias. O primeiro grupo recebe água residual bruta (após pré-tratamento) e o segundo grupo recebe água residual já com algum grau de tratamento, normalmente proveniente de uma lagoa anaeróbia. O seu principal objetivo de tratamento passa pela remoção de  $\text{CBO}_5$ , embora as cargas orgânicas administradas ao sistema não possam ser de magnitude elevada, de modo a permitir o desenvolvimento de uma população de algas saudável [46].

Resultado da sua profundidade e carga orgânica aplicada, desenvolvem-se três zonas tróficas dinâmicas nestas lagoas, consoante a concentração de oxigénio dissolvido durante o período diário (Figura 36). Na zona mais próxima da superfície da lagoa dominam as condições aeróbias, sendo promovidos processos de tratamento que controlam a libertação de odores e a remoção de nutrientes e  $\text{CBO}_5$ . Na zona mais próxima da base da lagoa predominam as condições anaeróbias, com processos fermentativos como a digestão de lamas, desnitrificação e alguma remoção de matéria orgânica ( $\text{CBO}_5$ ). Na camada compreendida entre ambas localiza-se uma zona facultativa [47, 48].

Resultante das atividades fotossintéticas das algas presentes nestas lagoas, existe, como já mencionado, uma variação diurna da concentração de oxigénio dissolvido. Com o começo do dia e consequente aumento da radiação solar, o nível de oxigénio dissolvido vai aumentando gradualmente até atingir o seu pico, ou seja, quando a radiação solar atingir os valores mais elevados e o metabolismo fotossintético é mais eficiente. Com o chegar da noite, a atividade fotossintética cessa e as algas começam a consumir também o oxigénio dissolvido na água, atingindo-se um nível mínimo. A oxipausa, profundidade à qual a concentração de oxigénio dissolvido atinge o valor zero, vai variando de posição de forma semelhante, como acontece também com o pH [46].

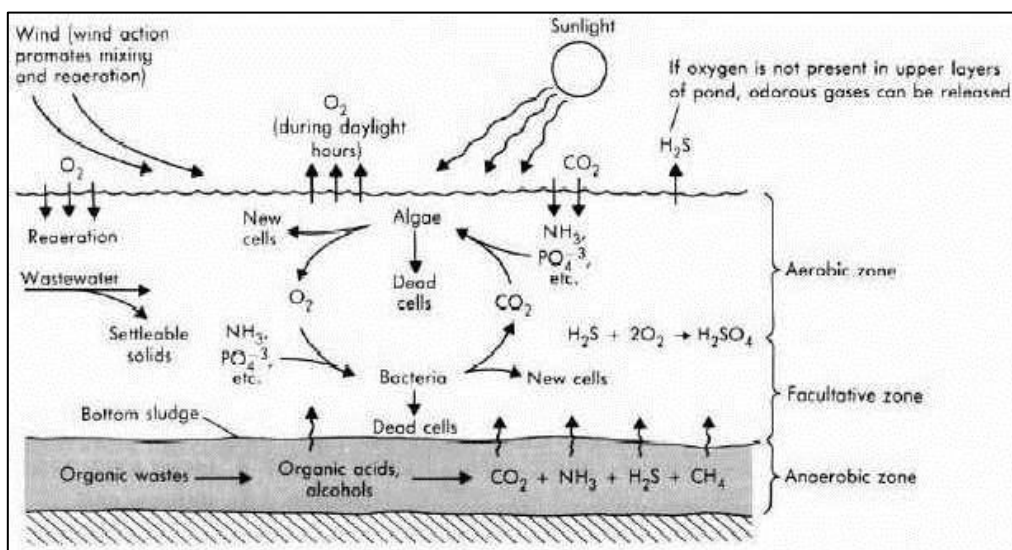


Figura 36 - Processos que ocorrem numa lagoa facultativa

### 3.2.3. LAGOAS DE MATURAÇÃO

As lagoas de maturação (Figura 37 [51]), também designadas de lagoas aeróbias ou de polimento, têm como principal função reduzir o número de microrganismos patogénicos, principalmente bactérias e vírus fecais, presentes nos efluentes provenientes das lagoas facultativas. Deste modo, este tipo de lagoas serve para “polir” a água até que esta cumpra os parâmetros necessários para ser reutilizada na agricultura ou aquacultura [46].

São lagoas que mantêm condições aeróbias, uma vez que recebem normalmente cargas orgânicas reduzidas e a sua profundidade é inferior a 1 m. Identicamente ao que se passa nas lagoas facultativas, a simbiose entre algas e bactérias promove a remoção de compostos e microrganismos indesejáveis. As algas, usando a luz solar como fonte de energia, consomem  $\text{CO}_2$ , nutrientes e sais inorgânicos como a amónia, produzindo, através do processo fotossintético, oxigénio. À medida que estes organismos vão morrendo, servem posteriormente de alimento às bactérias aeróbias, que utilizam o oxigénio dissolvido disponível para decompor compostos orgânicos e nutrientes. Este processo, denominado de respiração, liberta como produtos água, dióxido de carbono e amónia [47, 48].

De modo a manter a elevada taxa fotossintética das algas à superfície, pode ser necessário arejamento mecânico. Deste modo, a produção de oxigénio é assegurada, evitando que as algas assentem no fundo da lagoa e formem uma camada anaeróbia [47].

Quanto menos profundas, mais eficientes estas lagoas são na remoção de bactérias fecais e vírus, uma vez que a penetração da luz solar é maior. São, portanto, sistemas apropriados em climas quentes com uma elevada exposição solar [46, 47].

Embora a remoção de  $\text{CBO}_5$ , sólidos suspensos e nutrientes como o fósforo e o azoto seja relativamente lenta, num sistema de lagoas de estabilização de águas residuais devidamente dimensionado (lagoa anaeróbia, seguida de lagoa facultativa, seguida de uma ou mais lagoas de maturação), as percentagens cumulativas de remoção dos componentes mencionados são usualmente elevadas [46].



*Figura 37 - Lagoas de maturação em Kuala Lumpur, Malásia [51]*

### 3.2.3.1. FILTROS ROCHOSOS

Os Filtros Rochosos (FR) são unidades semelhantes a lagoas de maturação ou constructed wetlands, consistindo em lagoas pouco profundas preenchidas com um substrato rochoso que filtra os sólidos suspensos no efluente. Apresentam um fluxo subsuperficial horizontal e são usados frequentemente para promover sedimentação das algas presentes nos efluentes provenientes de lagoas facultativas ou maturação, embora possa também ocorrer nitrificação. As algas são então decompostas, libertando nutrientes que são utilizados pelas bactérias que crescem na superfície das rochas. A grande vantagem destes sistemas relativamente às lagoas de maturação prende-se com o facto de utilizarem muito menos área. São sistemas que atualmente devem ser considerados em qualquer sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem, da mesma forma que tanques de sedimentação secundários são largamente utilizados em sistemas de lamas ativadas, uma vez que servem o mesmo propósito, a remoção da biomassa produzida nos processos biológicos precedentes [27, 46].

Na Figura 38 é possível observar o processo de instalação de um filtro rochoso de dimensão reduzida [52]:



*Figura 38 - Instalação de um filtro rochoso em Ontário, Canadá*



## 4. METODOLOGIA

Com o objetivo de estudar a implementação de um sistema natural de tratamento de águas residuais para servir as necessidades da área de estudo, é necessário ter em conta vários aspetos, de modo a construir uma linha de raciocínio lógica, interligada com os interesses da entidade gestora do espaço e os objetivos propostos, respeitando as características do local e a legislação que lhe é aplicada.

A metodologia seguida neste trabalho, de modo a atingir os objetivos propostos, passou por duas componentes principais: o estudo e avaliação das condicionantes da Boomland e do caso de estudo; a aplicação da componente bibliográfica às condicionantes identificadas. Desta forma, foi possível fundamentar uma tomada de decisão quanto ao sistema de tratamento que melhor se adequa às condicionantes e avançar para o processo de dimensionamento do sistema de tratamento.

De modo a estudar as condicionantes da área e caso de estudo foi realizado trabalho de campo (*in loco*) na Boomland, envolvendo:

- Recolha e análise de amostras de solo da área de estudo, com intuito de aprofundar o conhecimento sobre as suas características, possibilitando a eventual integração dos resultados obtidos na construção do raciocínio que levará à solução proposta, servindo também como complemento informativo ao enquadramento geológico da propriedade.
- Identificação de linhas de água, captações e outros pontos de água, com recurso a mapas topográficos e carta militar (1:25000) da área de estudo;
- Identificação do ciclo de águas residuais, isto é, pontos em que são produzidos efluentes e forma e local onde estes são tratados;

Diretamente relacionado com esta componente mais prática, foram disponibilizados e tratados alguns dados, considerados fundamentais para a obtenção de uma solução para os objetivos propostos. A partir de informações disponibilizadas pela Associação IdanhaCulta foi possível avaliar os consumos de água na Boomland e estudar a sua variação com a sazonalidade e eventos promovidos, a partir dos quais foi possível determinar os volumes de águas residuais produzidos e a sua qualidade.

Com base na bibliografia considerada, relativa a sistemas naturais de tratamento de águas residuais, e tendo presente os objetivos definidos e o estudo das condicionantes, avançou-se para a seleção da tecnologia que melhor se adequa ao caso de estudo. Para tal, foram definidos alguns critérios que sustentassem esta decisão, conjugando vários fatores relativos à aplicabilidade prática e considerações baseadas em alguns autores especializados na área.

Uma vez tomada a decisão sobre o sistema a implementar na área de estudo e definidas as unidades de tratamento que o compõem, procedeu-se ao seu dimensionamento e estruturação geométrica, mediante cenários de tratamento e um conjunto de considerações admitidas. Estimou-se a eficiência do sistema na remoção de poluentes e o tempo necessário de tratamento, bem como os fluxos de caudal existentes.

Finalizado o processo de dimensionamento, foram realizados alguns cálculos e considerações sobre a construção das respetivas unidades, efetuando-se ainda uma estimativa de custos associada ao sistema a implementar.

## 4.1. ANÁLISES DE SOLO

De forma a avaliar as características do solo na área de estudo e de modo a determinar alguns parâmetros que possam vir a desempenhar um papel relevante no caso de estudo, procedeu-se à recolha de amostras e consequente análise no laboratório do Departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Procedeu-se à recolha de três amostras de solo de locais distintos da Herdade, tanto a nível geográfico, como no que diz respeito ao seu uso:

- Amostra PC – recolhida junto ao pomar da cantina do staff da organização;
- Amostra FV – recolhida a jusante do Filtro Verde, local onde a água residual cinzenta é armazenada depois de sujeita a tratamento;
- Amostra CP – recolhida junto à casa de produção (utilizada pelo staff da organização).

A localização geográfica pontos de colheita das amostras de solo está representada, de forma aproximada, na Figura 39:



*Figura 39 - Localização geográfica dos locais onde foram recolhidas as amostras de solo (imagem obtida através do Google Earth)*

Após serem recolhidas as amostras e transportadas para o laboratório, procedeu-se, em primeiro lugar, à divisão de cada uma das três amostras em duas partes, utilizando um Divisor Jones. Uma das partes divididas de cada amostra foi submetida a caracterização granulométrica recorrendo ao método de crivagem em redes de malha conhecida e a outra foi introduzida num moinho de anéis com o objetivo de reduzir a granulometria das partículas que constituem a amostra até ficar finamente pulverizada, de modo a ser utilizada em análises posteriores.

#### 4.1.1. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Feita a divisão das amostras iniciais em duas partes através do Divisor Jones, uma delas foi utilizada na caracterização granulométrica por via seca. Como tal, a parte das amostras utilizada nesta caracterização foi pesada, tendo-se adotado a seguinte denominação:

- PC 1 = 278 g
- FV 1 = 1199 g
- CP 1 = 538 g

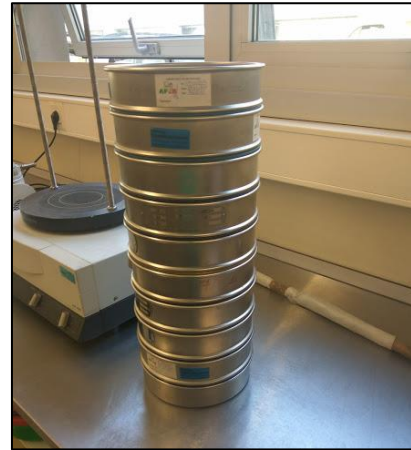


Figura 40 - Coluna de crivos e vibrador mecânico

De seguida, as amostras foram sujeitas ao processo de crivagem com uma duração de 12 minutos. Neste ensaio, as várias frações foram separadas simultaneamente num vibrador mecânico com os peneiros empilhados em coluna, o de maior diâmetro em cima e o de menor em baixo, representado na Figura 40.

Este processo não foi aplicado à amostra FV 1, uma vez que apresentava um teor de humidade excessivo, não permitindo que o processo de caracterização fosse exequível. Terminada a duração do ensaio, procedeu-se à pesagem da fração granulométrica contida em cada crivo e, com base no cálculo das percentagens retidas e cumulantes passados para cada amostra, foi possível representar a curva granulométrica das amostras CP 1 e PC 1 na Figura 41:

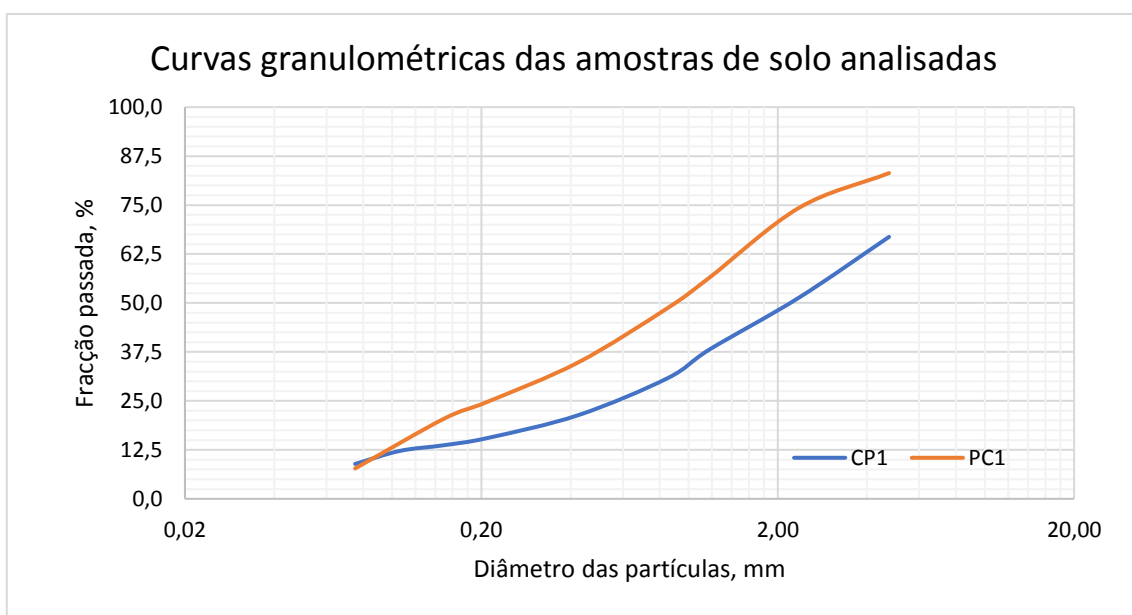


Figura 41 – Representação gráfica das curvas granulométricas das amostras CP 1 e PC 1

Ainda com base nos resultados das pesagens das frações granulométricas das duas amostras analisadas, foi possível aferir a respectiva textura do solo e classificá-la recorrendo ao triângulo textural dos solos ou Triângulo de Feret, como se verifica na Figura 42:

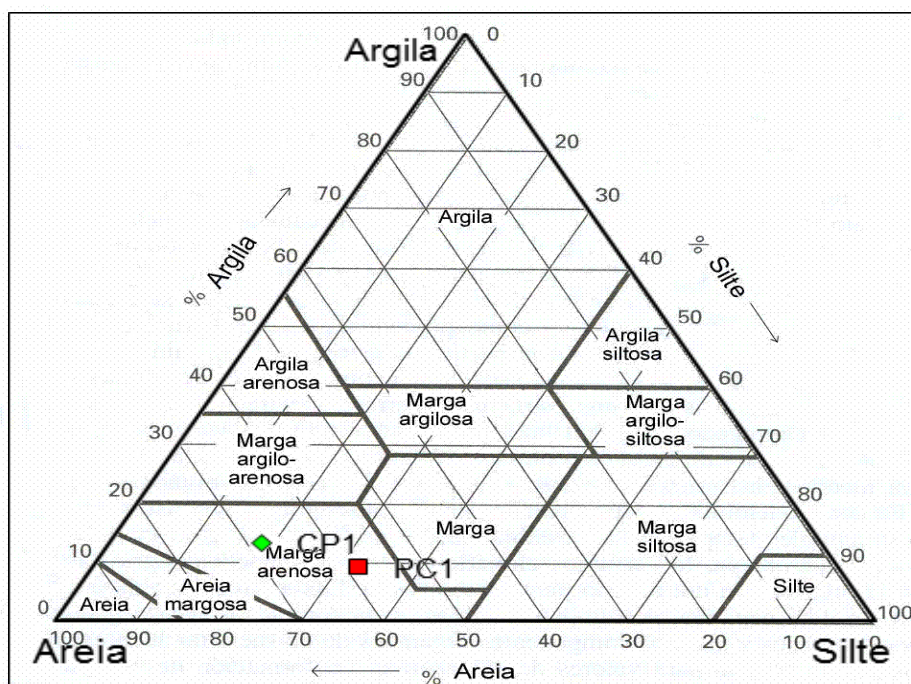


Figura 42 - Representação das amostras analisadas no Triângulo de Feret

Pela análise da figura acima, e refletindo sobre a análise granulométrica das amostras de solo analisadas, é possível concluir que ambas são classificadas como solo arenoso (marga arenosa), sendo que a amostra PC 1 apresenta uma maior fração de partículas finas relativamente à amostra CP 1.

#### 4.1.2. RESPIROMETRIA

O ensaio de respirometria relativo às três amostras recolhidas na área de estudo foi efetuado através do método OXITOP, que tem como objetivo determinar a respiração microbiana de uma amostra de solo, de modo a verificar a capacidade de biodegradação de um contaminante no solo em estudo. As condições do ensaio foram as seguintes:

- Tempo de medição: 14 dias
- Temperatura: 25°C
- Pressão limite: 50 hPa

Para efetuar o ensaio de respirometria das amostras de solo, selecionaram-se as amostras divididas previamente, CP 2, PC 2 e FV 2.

Na Figura 43 estão representados os resultados do ensaio relativo às três amostras analisadas, através das curvas de variação de CBO em relação ao tempo decorrido:

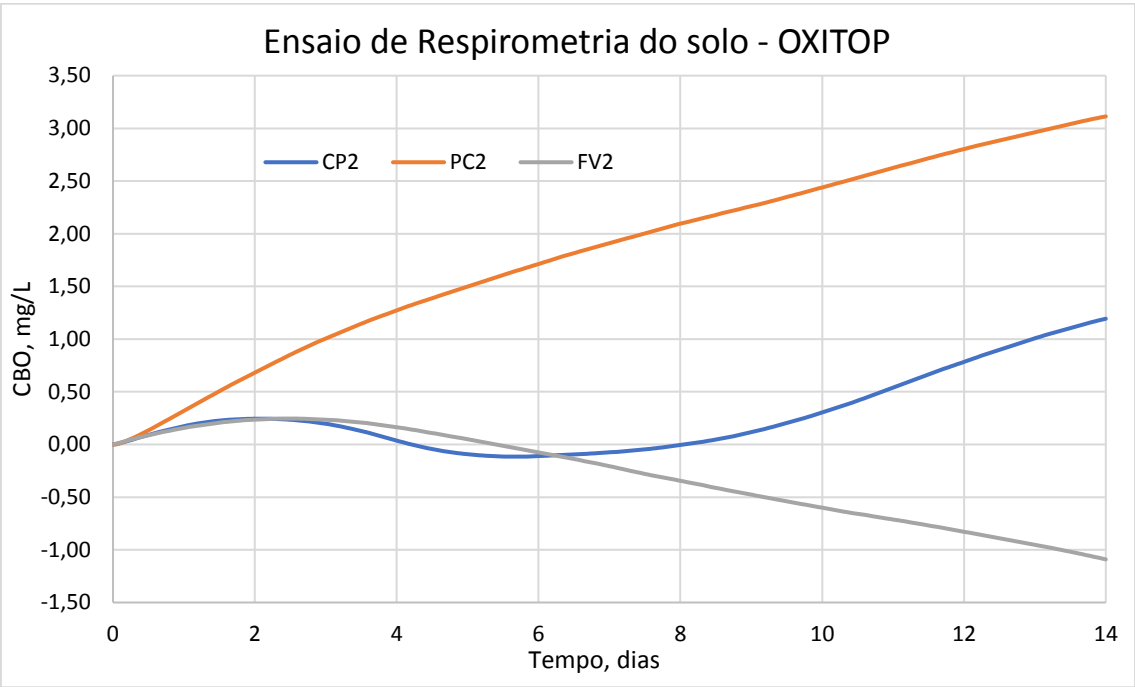


Figura 43 - Representação gráfica dos resultados do ensaio de respirometria do solo OXITOP

### 4.1.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A análise da composição química das amostras de solo retiradas da Boomland foi analisada com recurso ao equipamento de análise por fluorescência de raios X (*Oxford Instruments*). Os resultados obtidos mostram a concentração em ppm de vários componentes nas amostras analisadas, como se pode ver na Tabela 11:

Tabela 9 - Composição química das amostras analisadas

	Fe	K	Ti	Mn	Ca	Ba	Zr	Rb	V	Zn	Cr	Co	Pb	Sr	Ta	Ni	Cu	As	Cd
Amostras	Concentração [ppm]																		
CP 1	47765	23860	4872	875	795	469	199	141	101	67	46	41	38	37	28	26	26	24	11
PC 1	28703	22272	3915	684	3554	357	182	131	-	73	55		37	84	22	24	15	70	-
FV 1	32806	18870	6267	600	3618	334	200	115	-	66		23	33	92	15	30	3	21	-

De modo a facilitar a interpretação dos resultados obtidos neste ensaio, procedeu-se à construção de um gráfico de barras com base nos dados da Tabela 10, que se pode visualizar na Figura 44:

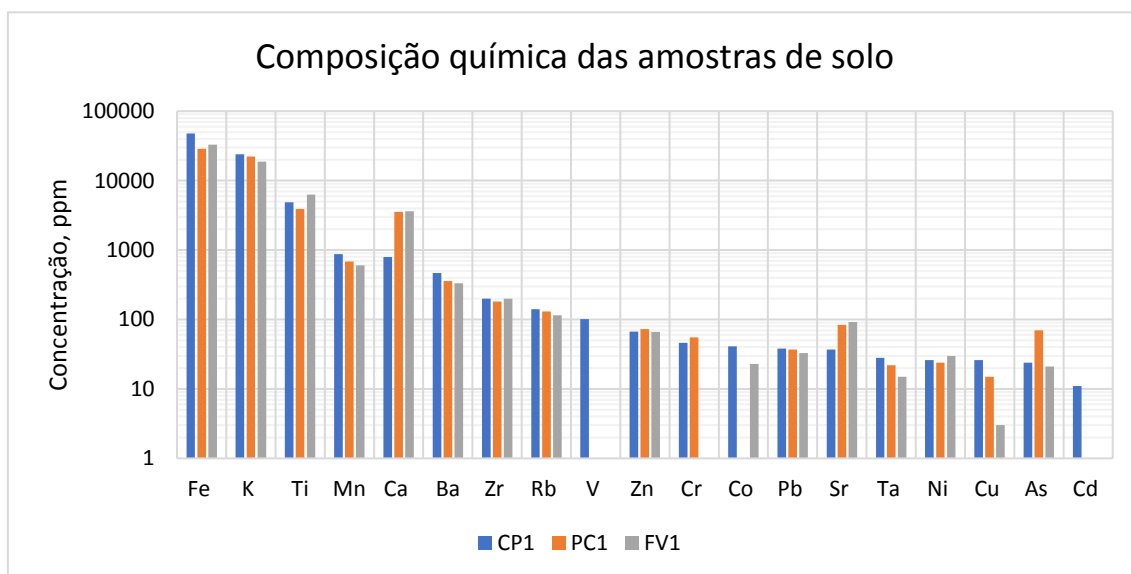


Figura 44 - Representação gráfica da composição química das amostras de solo analisadas

Verifica-se que as três amostras apresentam uma composição química relativamente semelhante, com os elementos ferro (Fe), potássio (K) e titânio (Ti) a surgirem com concentrações mais elevadas.

#### 4.1.4. DENSIDADE A GRANEL, PH E HUMIDADE VOLUMÉTRICA

Procedeu-se ainda às análises das três amostras subdivididas PC 2, CP 2 e FV 2, relativamente à densidade a granel, pH e humidade volumétrica.

Os resultados obtidos foram agrupados Tabela 10:

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de densidade a granel, pH e humidade volumétrica

	Amostras		
	CP2	PC2	FV2
Densidade a granel (seca) do solo (g/mL)	1,212	1,152	0,870
Densidade a granel (húmida) do solo (g/mL)	1,220	1,158	1,012
Humidade volumétrica (%)	0,82	0,59	14,13
pH	5,52	5,19	5,82

## 4.2. CONSUMOS DE ÁGUA

Como já referido anteriormente neste trabalho, na Boomland, há um abastecimento de água da rede municipal para servir maior parte dos usos da Boomland. Visto ser a única fonte de água com os parâmetros de consumo humano na área de estudo, toda a água abastecida por esta via é direcionada para bebedouros, chuveiros, lavatórios e áreas de restauração.

Visto ser do interesse deste trabalho quantificar os volumes de águas residuais produzidas na Boomland, a análise dos consumos de água anuais permite perceber a quantidade de água suscetível a tratamento.

Salienta-se, no entanto, que a partir da análise dos consumos de água da Boomland apenas se poderá quantificar os volumes de águas cinzentas produzidas, uma vez que as WCs compostáveis da Boomland não consomem água.

A Tabela 11 compara os consumos anuais de água da rede da Boomland nos anos de 2016 e 2017, dividindo os períodos de faturação em 10 intervalos. Apesar de não se conseguir definir uma quantidade exata dos consumos de água por mês, é possível ter uma noção das alturas do ano em que os consumos são maiores e a razão pela qual isso acontece.

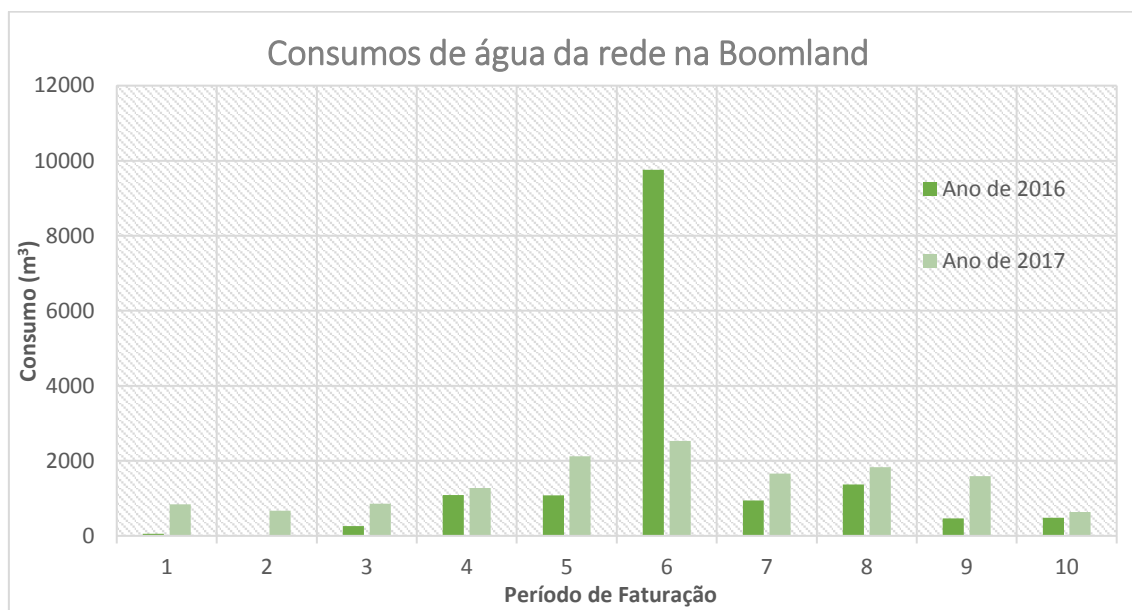
As tabelas que descrevem os intervalos de faturação e respetivos consumos nos dois anos considerados encontram-se no Anexo A.

*Tabela 11 - Consumos de água da rede no ano de 2016 – Boomland*

Consumos de água da rede na Boomland		
Período Faturação	Consumo (m <sup>3</sup> )	
	Ano de 2016	Ano de 2017
1	59	842
2	25	673
3	260	856
4	1089	1279
5	1076	2119
6	9760	2533
7	945	1661
8	1373	1831
9	464	1593
10	480	637
TOTAL	15531	14024



A partir da Tabela 11, foi possível representar os consumos de água da Boomland nos dois anos de faturação analisados num gráfico de barras, possível de visualizar na Figura 45:



*Figura 45 - Consumo de água da rede na Boomland nos anos de 2016 e 2017*

Em 2016, o Boom Festival decorreu entre 11 e 18 de agosto, podendo-se associar ao período de faturação nº 6. Como seria de esperar, o consumo da água da rede tem um pico substancial no período em que o festival recebe as cerca de 40000 pessoas (staff incluído), com um consumo associado de 9760 m<sup>3</sup> de água nos 46 dias de faturação. Nos meses imediatamente antes e após o festival, os consumos de água apresentam-se superiores em relação aos meses mais afastados da ocorrência do evento, representados pelos períodos de faturação nº 5, 6, 8 e 9. Esta variação é consequência do aumento do pessoal do staff da organização do festival que prepara o recinto para o evento e toda a logística envolvida e, dado o seu término, procede ao desmonte de todas as estruturas e evacuação de materiais e resíduos.

Para além do evento ter uma grande afluência na semana em que ocorre, salienta-se que este ocorre no verão, estação com temperaturas mais elevadas. Por esta razão, aliando também o facto da zona em que ocorre o festival ser muito seca, os consumos de água são inflacionados acentuadamente. Como é descrito na caracterização biofísica da área de estudo, as temperaturas podem facilmente rondar os 40°C durante o dia.

Tendo em conta as informações fornecidas pela organização, na edição do Boom Festival de 2016 estimou-se um consumo de cerca de 7000 m<sup>3</sup> de água da rede de abastecimento durante os 8 dias do festival, valor que se enquadra no consumo verificado no período de faturação que abrange o Boom Festival.

Com esta análise conclui-se sobre a variação dos consumos de água ao longo de um ano em que o Boom Festival decorre, identificando a dimensão dos picos de consumo originados pelo evento.



Relativamente ao consumo de água da rede anual de 2017 na Boomland, é possível identificar novamente um aumento nos meses mais quentes, coincidindo também com a ocorrência do Being-Gathering, que decorre entre 28 de junho e 3 de julho, inserindo-se também no período de faturação 6. Verifica-se também que não ocorre um pico tão significativo, fruto da não ocorrência do Boom Festival.

É, portanto, uma situação um pouco fora do comum, uma vez que, juntamente com a variação do número de pessoas que passam pela Boomland durante o ano (podem ser apenas 20 nos meses mais afastados do festival, ascendendo às 40 mil pessoas com a ocorrência do Boom Festival), há também uma variação considerável nos consumos de água.

### 4.3. VOLUMES DE ÁGUAS RESIDUAIS

Diretamente associado com os consumos de água da rede na Boomland, está a quantidade de águas residuais produzidas que, como já referido anteriormente, se traduz, neste panorama específico, no volume de águas cinzentas produzidas. Para o dimensionamento de um sistema de tratamento de águas residuais é fundamental ter a perceção do volume dos caudais de água a tratar e a sua variação com o decorrer do tempo.

Pela ocupação existente na Boomland, é simulada uma “mini-cidade”, embora a população que lá reside não seja permanente e apresente muitas oscilações ao longo do tempo. Os usos da água são semelhantes à maioria dos usos domésticos convencionais, pois a água da rede que abastece a Boomland é usada para consumo próprio, higiene pessoal e nas atividades de restauração. O único ponto em que difere do panorama doméstico convencional é o facto das instalações sanitárias não utilizarem qualquer volume de água em descargas e por não estarem ligadas a uma rede coletora de esgotos.

Visto que o volume de águas cinzentas produzido não é quantificado pela organização do festival, foi necessário proceder-se a um cálculo estimativo do mesmo, tendo como base os consumos de água da rede.

Da água que é abastecida aos diferentes setores pela rede de abastecimento público, apenas 20% são consumidos, sendo os restantes 80% devolvidos ao ambiente, já na forma de águas residuais tratadas [53]. Partindo deste pressuposto, tendo em conta os consumos de água potável da rede de abastecimento na Boomland, é possível estimar os volumes de águas cinzentas produzidos.

Para o cálculo dos volumes de águas cinzentas produzidos na Boomland, modificou-se o pressuposto de que 20% da água abastecida é consumida, assumindo-se em vez disso uma percentagem estimada de 25%. Esta alteração deve-se ao facto de se admitir que, fruto do extremo calor que se faz sentir nos meses mais quentes no local de estudo, há um maior uso da água para consumo próprio. Além disso, uma “fatia” considerável do panorama convencional das águas residuais produzidas está ligada à água usada no saneamento que, neste caso específico, não ocorre. Ademais, visto tratar-se de um festival de verão, muitas das infraestruturas em que a água circula e é abastecida são temporárias e/ou de qualidade reduzida, originando maiores perdas de água. Estes volumes de perdas de água, apesar de não serem considerados como consumo próprio de água, não são recolhidos para tratamento, ou seja, não são contabilizados como águas residuais.

Procedeu-se então ao cálculo estimativo dos volumes de água cinzenta gerados na Boomland, aplicando o seguinte pressuposto:

$$\text{Volume de água residual gerada (m}^3\text{)} = \text{Consumo (m}^3\text{)} \times (1 - 0,25) \quad (\text{Eq.2})$$

Através da Equação 2 foi possível o estimar os volumes de águas residuais cinzentas produzidas na Boomland, sendo possível comparar os dois anos tidos em consideração, como se pode verificar pela Tabela 12:

*Tabela 12 - Cálculo estimativo dos volumes de águas cinzentas produzidos na Boomland em 2016 e 2017*

Volumes de água residual cinzenta estimados				
Período Faturação	Consumo (m <sup>3</sup> )		Volume água cinzenta (m <sup>3</sup> )	
	Ano de 2016	Ano de 2017	Ano de 2016	Ano de 2017
1	59	842	44	632
2	25	673	19	505
3	260	856	195	642
4	1089	1279	817	959
5	1076	2119	807	1589
6	9760	2533	7320	1900
7	945	1661	709	1246
8	1373	1831	1030	1373
9	464	1593	348	1195
10	480	637	360	478
<b>TOTAL</b>	<b>15531</b>	<b>14024</b>	<b>11648</b>	<b>10518</b>

Verifica-se, naturalmente, um pico de produção de águas residuais diretamente relacionado com o maior consumo de água nas alturas em que ocorrem os eventos promovidos, com destaque para o pico de produção de água residual associado à ocorrência do Boom Festival, facilmente identificável pela Figura 46:

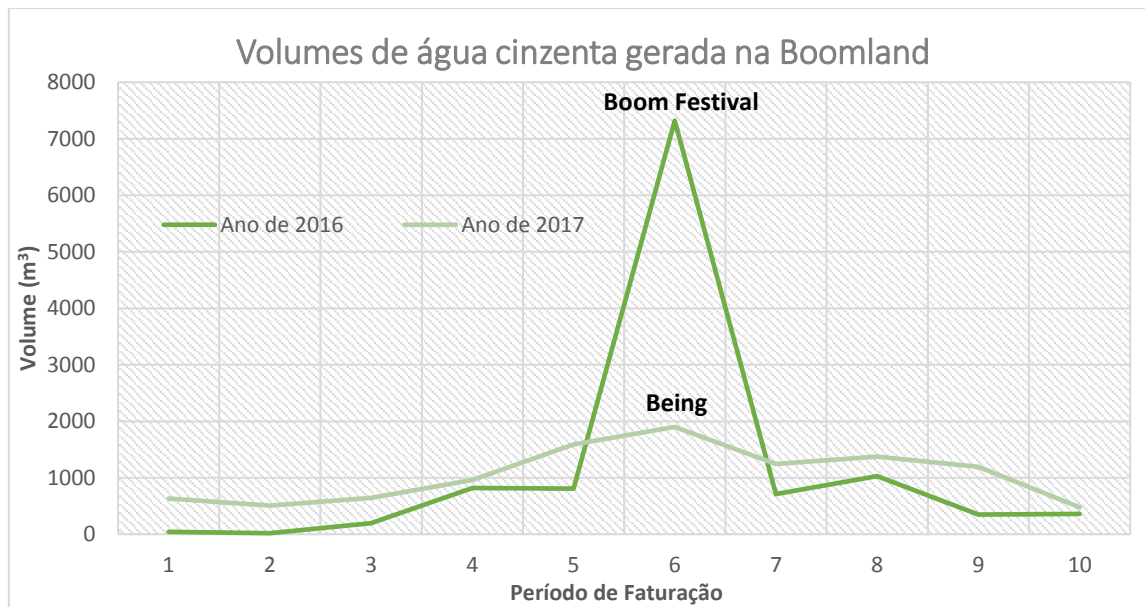


Figura 46 - Volumes de água cinzenta gerada na Boomland nos anos de 2016 e 2017

Pela análise da Figura 46 é visível a diferença entre os dois eventos, com o Boom Festival a ter uma magnitude significativamente superior ao Being-Gathering em termos de volume de água residual gerada, fruto do maior número de participantes que recebe.

O volume de águas residuais está diretamente relacionado com os consumos acima abordados, havendo também uma variação sazonal significativa associada ao volume de águas residuais produzido na Boomland, sendo evidente o evento de produção máxima de caudais de águas residuais, o Boom Festival.

Uma vez que este trabalho tem como grande objetivo o dimensionamento de um sistema de tratamento de águas residuais para a Boomland, é necessário definir os volumes que vão dar entrada neste sistema a projetar.

Para efeitos de dimensionamento, e uma vez que se deve ter sempre em conta o cenário mais drástico, de modo a assegurar que o sistema a projetar vai sempre ter capacidade para corresponder às exigências, o volume de águas cinzentas tido em conta é o correspondente ao produzido durante os 8 dias da edição de Boom Festival. Como tal, seguindo o mesmo pressuposto de que 75% da água consumida é transformada em água residual, temos:

$$7000 \times 0,75 \approx 5250 \text{ m}^3 \text{ água residual cinzenta gerada no Boom Festival 2016}$$

Utilizando este valor e comparando-o com o volume total de água cinzenta estimado na Boomland no ano de 2016, é possível aferir que o volume de águas cinzentas produzidas nos 8 dias de festival correspondem a aproximadamente 45% do total de águas cinzentas produzidas. Sublinha-se mais uma vez o impacto resultante da ocorrência do festival no panorama das quantidades de águas residuais, ocupando uma grande porção da sua contabilização total, em apenas 8 dias do ano.

Separadamente, mas com uma importância crucial, é necessário ainda contabilizar os volumes de águas negras que são produzidos na Boomland, correspondentes aos lixiviados das WCs compostáveis. Interessa, para efeitos de dimensionamento, ter a noção do volume de lixiviado que é originado durante o Boom Festival. Através de informações passadas pela organização do festival, durante os 8 dias de festival, no ano de 2016, foram contabilizados cerca de **150 m<sup>3</sup>** de lixiviado das WCs compostáveis.

Embora sejam efluentes muito diferentes em termos da sua composição, estima-se que foram produzidos cerca de **5400 m<sup>3</sup>** de águas residuais (águas cinzentas + águas negras) nos 8 dias em ocorreu a edição de 2016 do Boom Festival.

#### 4.4. QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUAL

Uma vez estimados os volumes de águas residuais produzidos na Boomland, é igualmente importante determinar a sua qualidade. Para tal, recorreu-se a um estudo realizado pela Universidade da Extremadura em cooperação com a ACTYVA, S. COOP e a Associação IdanhaCulta [4]. Este estudo, intitulado “Hygienic and sustainable cycling of human resources in BoomLand” teve como objetivo determinar a adequação técnica e sanitária das águas residuais geradas no Boom Festival para reutilização na irrigação e do lixiviado resultante da biodigestão microbiológica como fertilizante. Foi selecionado este estudo uma vez que reflete o interesse deste trabalho - determinar a qualidade das águas residuais na altura de pico, ou seja, com a ocorrência do Boom Festival.

Os responsáveis pelo estudo procederam à recolha de amostras do lixiviado das WCs compostáveis e das águas cinzentas antes e depois de serem tratadas pelo Filtro Verde existente no local. Foram então recolhidas amostras das WCs compostáveis dos anos de 2012, 2014 e 2016, juntamente com as amostras de águas cinzentas antes de passarem pelo Filtro Verde (ET1) e depois de tratadas pelo mesmo (ET2). A nomenclatura adotada pelos autores do estudo é a seguinte:

- Lixiviado de 2016
  - SAN1: Langosta
  - SAN2: Mercadillo
  - SAN3: Chillout
  - SAN4: Dance Temple
  - SAN5: Secret Fire
- Lixiviado de 2014: SAN2014
- Lixiviado de 2012: SAN2012
- Estação de tratamento de águas residuais (ETAR): antes do Filtro Verde (ET1), depois do Filtro Verde (ET2).

Ressalva-se que as 5 amostras do lixiviado de 2016 foram recolhidas em locais diferentes do recinto do Boom Festival, sendo a sua designação própria das áreas referentes ao festival e que, as amostras foram recolhidas em duas fases diferentes: a primeira a 18 de agosto e a segunda a 29 de setembro.

Feita a recolha das amostras, os responsáveis pelo estudo, procederam à análise das amostras, divididas em análises para determinação de contaminação abiótica e contaminação biótica. Os indicadores de contaminação abiótica analisados foram os seguintes:

- Amoníaco ( $\text{NH}_4^+$ )
- Carbono Orgânico Total (COT)
- Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)
- pH
- Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )
- Azoto total (N Total)
- Fósforo total (P Total)
- Cloreto de sódio total (NaCl)

Os microrganismos analisados para determinar a contaminação biótica das águas residuais produzidas na Boomland foram os seguintes:

- Coliformes Totais
- *Escherichia coli*
- Microrganismos mesófilos
- *Salmonella spp.*

Não foram tidos em conta os metais pesados nas análises realizadas, uma vez que não existe um conhecimento profundo dos fármacos utilizados pelos utilizadores dos eventos que, para além dos detergentes usados, são a única fonte de metais pesados. Como tal, a escolha destes determinantes para serem analisados é complexa pois devido à sua baixa concentração nas águas, podem confundir-se com fontes naturais.

Os métodos utilizados pelos autores do estudo para a análise das águas residuais bem como os aspetos mais particulares e detalhes não estão aqui discriminados, mas podem ser consultados na bibliografia [4].

Os resultados obtidos pelos autores do estudo relativamente aos indicadores de contaminação abiótica encontram-se na Tabela 13, adaptada do texto original:

*Tabela 13 - Resultados relativos aos indicadores de contaminação abiótica  
Adaptado de Hygienic and sustainable cycling of human resources in BoomLand [4]*

	ET2	ET1	SAN1	SAN2	SAN3	SAN4	SAN5	MÉDIA SAN	SAN 2014	SAN 2012
COT (mg/L)	114,5	-	2795	3142	2126	1980	1587	2326	1091	1328
CBO (mg/L)	170	480	20000	22550	11950	10600	9250	14870	4950	3750
pH	6,76	5,4	9,33	8,3	8,72	8,51	8,55	8,682	8	8,38
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g/L)	19,09	3,11	5,98	6,24	3,48	3,98	2,98	4,532	3,19	5,48
N total (g/L)	331,8	-	11,64	5,76	3,39	3,96	2,81	5,512	3,22	5,25
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,11	0,09	8,8	9,7	10,7	9,8	10,7	9,94	11,2	11,5
P total (mg/L)	24,8	-	403,2	385,2	214,9	211,5	241,5	291,26	286,2	374,6
NaCl (g/L)	-	-	23,3	23,6	14,27	15,33	13,33	17,966	16,73	22,3

A coluna 9 “MÉDIA SAN” da Tabela 13 corresponde à média aritmética das concentrações obtidas para cada parâmetro das amostras do ano de 2016, ou seja, das amostras SAN1, SAN2, SAN3, SAN4 e SAN5. Deste modo, perspetiva-se acerca da qualidade do efluente gerado nas WCs compostáveis caso seja armazenado como um todo, na qualidade de “águas residuais negras”.

Analisando a Tabela 13, verifica-se que os grupos sanitários SAN1 e SAN2 apresentam resultados superiores aos restantes em praticamente todos os parâmetros. Uma explicação para este facto será pela localização dos grupos sanitários e o seu respetivo uso. Como tal, os grupos sanitários SAN1 e SAN2 localizam-se na zona do campismo e os restantes na zona do recinto propriamente dito. Os sanitários localizados no recinto são mais suscetíveis a serem usados preferencialmente para excreções líquidas enquanto que os do campismo recebem mais carga sólida, aumentando o grau de contaminação das águas.

Aferindo-se o tipo de águas residuais produzidas na Boomland, mediante a realização de eventos como o Boom Festival, é possível incluir estas águas no grupo de águas residuais municipais, uma vez que durante a semana do festival é, de certo modo, simulada uma “mini-cidade”, dada a tamanha afluência de pessoas que lá habitam. É necessário referir, no entanto, que no panorama atual do local de estudo nunca ocorre a mistura das águas negras e das águas cinzentas, daí a ser feita uma análise separada dos dois tipos de efluentes.

Por comparação com a Tabela 14, é possível então aferir que o lixiviado das casas de banho compostáveis apresenta uma carga orgânica extremamente elevada, bem mais alta do que a que se verifica tipicamente em águas residuais municipais. Dever-se-á ao facto das casas de banho compostáveis não utilizarem qualquer volume de água na sua operação, originando lixiviados muito mais concentrados do que é comum. O mesmo se verifica para parâmetros referentes à concentração de nutrientes como o fósforo total (P total) e o azoto total (N total) e ainda a concentração de amoníaco ( $\text{NH}_4^+$ ), muito acima dos valores que se verificam usualmente para este tipo de águas residuais. Conclui-se, portanto, que são águas residuais fortemente contaminadas.

*Tabela 14 - Composição típica de águas residuais municipais  
Adaptado de Treatment Wetlands [28]*

Composição Típica de Águas Residuais Municipais e Percentagens de Remoção em Vários Níveis de Tratamento						
Constituinte	Efluente Bruto (mg/L)		Percentagem de Remoção (%)		Efluente Secundário (mg/L)	
	Típico	Intervalo	Típico	Intervalo	Típico	Intervalo
BOD <sub>5</sub>	220	110–400	0–45	65–95	20	10–45
COD	500	250–1,000	0–40	60–85	75	35–75
TSS	220	100–350	0–65	60–90	30	15–60
VSS	165	80–275	—	—	—	—
NH <sub>4</sub> -N	25	12–50	0–20	8–15	10	<1–20
NO <sub>3</sub> -N	0	0	—	—	6	<1–20
Org-N	15	8–35	0–20	15–50	4	2–6
TKN	40	20–85	0–20	20–60	14	10–20
Total N	40	20–85	5–10	10–20	20	10–30
Inorg P	5	4–15	—	—	4	2–8
Org P	3	2–5	—	—	2	0–4
Total P	8	6–20	0–30	10–20	6	4–8
Arsenic	0.007	0.002–0.02	34	28	0.002	—
Cadmium	0.008	<0.005–0.02	38	33–54	0.01	<0.005–6.4
Chromium	0.2	<0.05–3.6	44	58–74	0.09	<0.05–6.8
Copper	0.1	<0.02–0.4	49	28–76	0.05	<0.02–5.9
Iron	0.9	0.10–1.9	43	47–72	0.36	0.10–4.3
Lead	0.1	<0.02–0.2	52	44–69	0.05	<0.02–6.0
Manganese	0.14	0–0.3	20	13–33	0.05	—
Mercury	0.001	<0.0001–0.0045	11	13–83	0.001	<0.0001–0.125
Nickel	0.2	—	—	33	0.02	<0.02–5.4
Silver	0.022	0.004–0.044	55	79	0.002	—
Zinc	1.0	—	36	47–50	0.15	<0.02–20

No que diz respeito à qualidade das águas cinzentas, verifica-se que as concentrações de CBO<sub>5</sub> são significativamente inferiores às verificadas no lixiviado das WCs compostáveis (como seria de esperar) sendo que, no entanto, continuam a estar acima da média, comparativamente com os valores típicos de águas residuais municipais. Embora o estudo não apresente os valores de alguns parâmetros à entrada do Filtro Verde, observam-se, ainda assim, valores extremamente altos de N Total e  $\text{NH}_4^+$  à saída do mesmo, fruto da contaminação deste tipo de águas através do seu uso em atividades ligadas à restauração.

Verifica-se também que os resultados das amostras dos anos de 2012 e 2014 são relativamente similares aos do ano de 2016, apenas com um leve aumento dos nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), fruto do maior tempo de oxidação e com uma diminuição natural da CBO e do Carbono Orgânico Total (COT), uma vez que a matéria orgânica das amostras foi sofrendo decomposição.

Uma vez mais ressalva-se que o estudo, na sua forma original, contém uma análise discussão mais detalhada dos resultados, nomeadamente no âmbito da reutilização destas águas para rega.

## 4.5. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

É intuito natural da entidade gestora da Boomland que se tente implementar um sistema de tratamento de águas economicamente viável, uma vez que os eventos promovidos são pontuais. Isto é, não existe uma ocupação e utilização constante da propriedade que justifique o investimento num sistema de tratamento de águas convencional, que é por norma, muito mais caro em comparação com sistemas naturais de tratamento de água. Fruto dessa pontualidade nos eventos promovidos, ocorre uma variação acentuada do número de pessoas que ocupam a Boomland, isto é, não há a geração constante de caudal de água residual ao longo do ano.

Os sistemas modernos de tratamento de águas residuais são indicados para situações em que há necessidade de tratar caudais elevados de águas de uma forma contínua, ou seja, para populações relativamente densas fixadas em determinado local. São denominados, usualmente, por sistemas de alta utilização. Associada a este uso mais intenso, advém naturalmente a necessidade de usar soluções mais avançadas tecnologicamente, com tempos de retenção reduzidos. Por consequência, o custo de investimento é mais elevado, assim como os custos operacionais e de manutenção e ainda os gastos energéticos.

Os sistemas naturais de tratamento de águas residuais destacam-se pela sua aplicabilidade a situações descentralizadas e a sua robustez e flexibilidade permite a sua implementação em situações mais peculiares, como é o caso presente.

Dentro dos sistemas naturais de tratamento de águas residuais, foram alvos de maior atenção dois tipos de sistemas: as *constructed wetlands* ou leitos de macrófitas e as lagoas de estabilização de águas residuais, processo também conhecido por lagunagem. Ressalva-se que todo o processo de seleção de tecnologias possivelmente aplicáveis ao caso de estudo foi de alguma forma iterativo. Isto é, apesar de primitivamente o objetivo deste trabalho se prender com o estudo da adequação de CWs ao caso prático de estudo, pelas observações *in-situ*, pesquisa bibliográfica e algum aconselhamento de especialistas na área, outras opções foram surgindo como possivelmente viáveis e adequadas.

Apesar dos dois sistemas naturais de tratamento de água residuais não terem sido testados na prática, ou seja, não se partiu para o dimensionamento e implementação de ambas as tecnologias como forma de obter um meio comparativo, o processo de seleção foi, todavia, fundamentado segundo determinadas perspetivas.

De modo a optar-se por uma das tecnologias, foi necessário definir alguns critérios que servissem de base a uma decisão fundamentada e que estivessem de acordo com os objetivos e interesses da entidade que gere a Boomland, adequando-se da melhor forma possível às características físicas e biofísicas da área de estudo. Como tal, foram tidos em consideração os critérios: **a) área necessária/custo; b) eficiência da tecnologia na remoção de poluentes; c) observações *in-situ* e considerações práticas.**

Ressalva-se que a opção por uma das tecnologias não descarta a aplicabilidade da outra ao caso de estudo, pois existe, há partida, uma certa propensão e adequabilidade dos sistemas naturais de tratamento de águas residuais às características evidenciadas pela área de estudo e às práticas que lá decorrem. Existe também a possibilidade de combinar as duas tecnologias, originando sistemas integrados (normalmente usando-se CWs para tratar efluentes provenientes de lagoas facultativas primárias ou lagoas anaeróbias).



#### 4.5.1. ÁREA NECESSÁRIA / CUSTO

Kadlec & Wallace (2009) resumem e comparam os pontos fortes e fracos de várias unidades naturais de tratamento de águas residuais na Tabela 15 [28]:

Tabela 15 - Comparação dos pontos fortes e fracos de várias unidades naturais de tratamento de águas residuais [28]

Comparison of Strengths and Weaknesses of Various Unit Ecosystem Alternatives									
Unit Ecosystem	Relative Cost per Area	Relative Pollutant Reduction Potential							
		BOD <sub>5</sub>	TSS	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TP	Metals	Pathogens	Organics
Wetland Alternatives									
FWS marsh	L	H	H	M	H	M	H	H	H
FWS floating aquatic plant	M	H	H	L	M	M	M	H	M
FWS submerged aquatic plant	L	M	H	H	M	H	H	H	H
FWS algal-dominated	L	M	M	H	M	H	H	M	M
HSSF	H	H	H	L	H	M	H	H	H
VF	H	H	H	H	L	L	L	L	L
Related Natural Technologies									
Slow-rate land application	H	H	H	H	L	H	H	H	H
Overland flow	H	H	M	H	L	M	M	M	M
Rapid infiltration	H	H	H	H	L	M	M	M	M
On-site filtration	H	H	H	H	L	M	M	M	M
Facultative ponds	L	H	L	M	M	M	M	H	M
Aerated ponds	H	H	M	H	L	M	M	H	M
High-rate algal ponds	H	H	L	H	L	M	M	H	M
Note: L = Low, M = Moderate, H = High.									

Note: L = Low, M = Moderate, H = High.

Analisando a Tabela 15, é possível verificar que tanto as várias alternativas de sistemas de *wetlands* como as tecnologias naturais que englobam os sistemas de lagunagem apresentam potenciais de remoção de poluentes satisfatórios (potencial de redução de poluentes moderado ou alto), variando, de caso para caso, o custo por área. No que diz respeito a este último aspeto, verifica-se que os tipos de *CWs* fora do espectro da tipologia “fluxo superficial”, apresentam custos relativos por área elevados. Já no que toca aos processos de tratamento por lagunagem, observa-se que o custo relativo por área das lagoas facultativas é baixo, contrastando com as restantes duas tecnologias que envolvem lagoas, referidas na Tabela 15.

Os custos capitais associados *CWs* com fluxo subsuperficial, tipologia atualmente mais em voga, estão largamente dependentes do custo do substrato filtrante (brita ou areia), uma vez que as bacias de tratamento têm de ser preenchidas com o mesmo. O segundo maior investimento capital, no que diz respeito a este tipo de tecnologias, prende-se, normalmente, com o custo do terreno. Contudo, as decisões financeiras associadas à implementação de sistemas de tratamento de águas não se devem prender apenas com o custo capital, mas sim envolver uma avaliação de custos a longo prazo (ciclo de vida) que inclua custos operacionais e de manutenção. Comparando estes sistemas com tratamentos com taxa aeróbia elevada, quando se tratam de pequenas plantas (até 500 p.e), as *CWs* são usualmente mais económicas de implementar, mas para unidades maiores, verifica-se o cenário oposto.

Para sistemas de tratamento que sirvam mais de 10000 (p.e), em locais onde o custo do terreno é reduzido ou já foi adquirido, lagoas de estabilização de águas residuais apresentam custos capitais menores do que leitos de macrófitas [34].

Segundo Mara (2003), comparando a área necessária para a implementação de uma CW relativamente a uma lagoa facultativa, concluiu que a primeira requer maior área e uma grande quantidade de brita, aumentando os custos associados. Para além disso, afirma que os leitos de macrófitas são unidades de tratamento secundárias, ou seja, teriam sempre de ser precedidos por um tanque séptico ou mesmo uma lagoa do tipo anaeróbio, de modo a evitar o entupimento da camada filtrante de brita do sistema [46].

Os principais custos associados aos sistemas que englobam lagoas de estabilização envolvem o custo capital do terreno e movimentação de terras, uma vez que a sua construção é relativamente simples [54].

Resumindo as considerações supramencionadas, ambas as tecnologias necessitam de mais terreno do que as tecnologias de tratamento de águas convencionais (ETARs p.ex), no entanto, as CWs requerem, comparativamente às lagoas de estabilização, mais terreno para a sua implementação. Para além disso, o custo capital com maior peso na aplicação de CWs prende-se com o custo do substrato filtrante.

Deste modo, partindo da intenção de aplicar um sistema com baixo investimento envolvido, é possível retirar algumas ilações quanto ao sistema possivelmente mais vantajoso a implementar neste caso de estudo. Apesar do custo de investimento capital não dever ser tido como fator decisivo na aplicação de uma tecnologia, como já foi mencionado, é evidentemente um aspeto que merece atenção e que se prende, em grande parte, com a área necessária para a implementação dos sistemas de tratamento. Como tal, apesar da entidade gestora da Boomland ter adquirido recentemente 150 hectares da Herdade da Granja, há certamente um plano a ser definido para os aproveitar da melhor forma possível, pelo que se pode assumir o pressuposto de que será vantajoso tentar ocupar o menor espaço possível.

Verifica-se então que as unidades menos dispendiosas de implementar são as lagoas de estabilização de águas residuais, uma vez que requerem, normalmente, menos área para a sua implementação e não necessitam da adição de um substrato filtrante, como acontece com as *constructed wetlands*. Ressalva-se que esta análise se focou apenas nos custos mais significativos de cada unidade de tratamento, não foi feita uma análise financeira pormenorizada.

#### 4.5.2. EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE POLUENTES

Voltando a analisar a Tabela 17, agora numa perspetiva mais incidente sobre a eficácia de cada tecnologia na remoção de poluentes, é possível retirar algumas conclusões no que diz respeito a este aspeto. Nas alternativas referentes às *wetlands*, verifica-se que há determinados tipos de unidades que são mais indicadas para a remoção de certos poluentes e que podem ser aplicadas especificamente quando as águas residuais a tratar estejam mais carregadas com esses mesmos poluentes. Incidindo nos leitos como fluxo subsuperficial, comparando as unidades com fluxo horizontal com as com fluxo vertical, é possível apurar que as últimas são mais adequadas quando se pretende a nitrificação da amónia a nitratos, ou seja, quando as águas residuais apresentam altos teores de amónia, como é o caso de lixiviados de aterros. No entanto, estas unidades não são eficientes a promover reações de desnitrificação, enquanto os sistemas com fluxo horizontal conseguem-no fazer eficazmente. Estes últimos são então mais indicados para situações em que se pretende remover azoto do efluente. Por serem ambos os sistemas

extremamente dependentes de processos biológicos, as reações que promovem a remoção de poluentes são beneficiadas por temperaturas mais elevadas, ou seja, são sistemas mais indicados para locais mais quentes.

No panorama geral, envolvendo os dois tipos de *wetland* com fluxo subsuperficial, conclui-se que as com fluxo vertical apenas são mais indicadas para casos em que há o objetivo claro de reduzir os níveis de amónia do efluente. As unidades com fluxo horizontal apresentam eficiências de remoção de poluentes mais elevadas nos restantes parâmetros.

Relativamente às lagoas de estabilização, tendo em consideração apenas as lagoas facultativas, uma vez que são o único tipo de lagoas em discussão no presente trabalho mencionadas na Tabela 17, verifica-se que apresentam níveis médios de remoção de poluentes, à exceção do parâmetro relativo aos SST. Esta exceção deve-se ao facto deste tipo de lagoas promover o crescimento de algas com agentes ativos nos processos de remoção de poluentes aumentando, por consequência, a concentração de SST no efluente final. Esta é tida como uma das principais desvantagens destes sistemas, havendo normalmente a necessidade da implementação de unidades a jusante que filtrem o efluente antes de ser descarregado.

Contudo, a Tabela 17 não representa as situações mais comuns de tratamento, que se prende com sistemas formados por mais que um tipo de lagoa de estabilização, com cada uma delas, nessa série de tratamento, a ter funções específicas no tipo de poluentes que remove.

Numa abordagem geral e mais direta, os processos de remoção de poluentes em lagoas de estabilização de águas residuais são extremamente beneficiados quando as temperaturas são mais elevadas. Nas séries de lagoas, aplicação mais comum destes sistemas, as lagoas anaeróbias e facultativas têm como principal função a remoção de  $\text{CBO}_5$  e as lagoas de maturação (ou unidades equivalentes) são projetadas para a remoção de bactérias e vírus fecais. Os processos de remoção enunciados são apenas os que ocorrem em maior escala, uma vez que há também normalmente a remoção de alguns nutrientes (N e P) e  $\text{CBO}_5$  em lagoas de maturação, assim como também ocorre a remoção de alguns microrganismos patogénicos em lagoas anaeróbias e facultativas [46].

Comparados ambos os sistemas naturais considerados, é possível concluir que ambas as tecnologias são adequadas a locais onde as temperaturas são mais elevadas e, mediante os tipos de unidades existentes no espectro de cada tecnologia, é possível conjugar unidades de modo a obter o tratamento mais adequado ao tipo de água residual a tratar.

Na mais variada bibliografia que inclua estes dois tipos de sistemas naturais de tratamento de águas residuais nos seus conteúdos, as vantagens de uma tecnologia sobre a outra raramente se focam na eficácia de tratamento como fator discrepante. Aliás, é possível ver uma *CW* numa perspetiva em que é apenas uma lagoa pouca profunda com vegetação macrófita emergente e um substrato filtrante adicionado, ou seja, os processos biológicos que ocorrem não são significativamente distintos.

### 4.5.3. OBSERVAÇÕES *IN-SITU* E CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

Nesta secção abordam-se alguns aspetos que foram considerados relevantes mencionar pelo trabalho presencial realizado na Boomland, ou seja, por observações *in-situ* que podem ser fatores determinantes na escolha da tecnologia mais adequada, com vista à aplicação no local de estudo.

Verificou-se, através da observação das várias áreas da Boomland, a existência prévia de duas lagoas que, segundo informações fornecidas pelos responsáveis, não têm qualquer uso ativo, existindo previamente à fixação da Boomland no local atual, como é possível observar pela Figura 47:



*Figura 47 - Lagoas existentes na Boomland (imagem obtida através do Google Earth)*

Constatando a existência destas unidades, foi pertinente proceder à pesquisa de informações disponíveis acerca das mesmas, de modo a avaliar a sua possível aplicabilidade ao caso de estudo, ou seja, avaliar a possibilidade de aproveitar as lagoas já existentes num processo natural de tratamento de águas residuais.

Apesar de situarem a cerca de 50 m da via rodoviária que serve um dos acessos à Boomland e da denominada “Casa de Produção” (casa habitada por membros do staff da organização), a sua localização pode ser considerada como um ponto a favor na sua utilização. Deve-se ao facto de estarem situadas distantes da área de ocupação dos eventos promovidos na Boomland, como



também fora da área da intervenção do POAI que, pelo plano de proteção à Albufeira, define restrições mais severas no que toca à utilização do espaço. Deste modo, é possível, em caso de utilização destas lagoas, evitar que se sintam eventuais maus odores dos processos de tratamento e que se promova um ambiente mais seguro, pelo seu afastamento das pessoas.

Através da observação *in-situ* das lagoas, foi possível capturar a Figura 48, estando as duas fotografias colocadas intuitivamente, segundo a sua posição na Figura 47 (vista aérea).



Figura 48 - Observação das lagoas situadas na Boomland

Verificou-se, contudo, um pormenor que se revela como um ponto mais sensível, caso seja decidido englobar as lagoas num sistema natural de tratamento de águas residuais. Através da ferramenta ArcGis, utilizada no presente estudo, foi possível consultar um ortofotomapa digital e verificar que existem linhas de água subterrânea que muito provavelmente, através de infiltração pelo subsolo, alimentam as lagoas. Este facto é corroborado por relatos da organização, uma vez que tem sido verificado pelos mesmos, que mesmo nos meses mais secos e quentes, as lagoas mantêm um nível de água razoável. Um excerto desse mapa pode ser observado na Figura 49:



Figura 49 - Identificação de linhas de água (zona das lagoas)

Tendo em consideração este facto, torna-se mais sensível a utilização destas unidades como parte de um sistema natural de tratamento de águas residuais, pelo menos como estágios iniciais dos processos de tratamento, que recebem efluentes com pior qualidade e que podem dar origem à contaminação das águas subterrâneas por infiltração. A aplicação de uma camada impermeabilizante pode ser estudada, de forma a reter as águas contaminadas de forma segura. No entanto, caso sejam atingidos bons níveis de tratamento e o efluente, no final dos processos de remoção de poluentes, possuir parâmetros qualitativos aceitáveis, será definitivamente aceitável considerar-se a utilização destas lagoas na fase de armazenamento da água tratada, antes de ser reutilizada.

Recorrendo ao software “Google Earth”, foi possível medir a área atual que as lagoas ocupam, tendo-se obtido um valor na ordem dos 3700 m<sup>2</sup> para a lagoa com maiores dimensões (localizada à esquerda na Figura 50), enquanto que a lagoa mais pequena (localizada à direita na Figura 50) apresenta uma área na ordem dos 2000 m<sup>2</sup>. É desconhecida a profundidade destas unidades, mas pela observação da mesma estima-se que possa superar 1,5 m de profundidade. Salva-se que as áreas medidas com a ajuda do software indicado são aproximações.

É também relevante referir, brevemente, mais algumas considerações práticas obtidas pela troca de ideias com o staff e organização do festival como também pela análise da área de estudo, que podem, eventualmente, desempenhar alguma importância neste trabalho.

A solução deve ser implementada o mais rapidamente possível e de fácil manutenção. Isto é, deve ser tida em conta uma certa necessidade urgente de ser implementado um sistema de tratamento de águas residuais que tenha capacidade para tratar com eficiência as águas residuais geradas na Boomland, com especial atenção ao “evento pico”, o Boom Festival. A solução a implementar deve ter a capacidade de tratar águas residuais efetivamente, uma vez finalizada a sua construção e não deve requerer procedimentos operacionais complexos de forma a ser facilmente operada pelo *staff*. No que diz respeito a este aspeto, as lagoas de estabilização podem ser mais adequadas, uma vez que os procedimentos de arranque são menos demorados, comparativamente com as *constructed wetlands*. Estas, necessitam que a vegetação macrófita já esteja entre 60 a 80% desenvolvida para funcionarem eficientemente, processo que pode demorar meses [28]. As lagoas de estabilização necessitam também de procedimentos de arranque, de modo a estabelecer as populações microbianas que vão degradar os poluentes, que duram, no mínimo, uma semana [46].

Mediante o cenário de caudais variáveis já evidenciado, é fundamental que o sistema a implementar tenha a flexibilidade para se adaptar a estas circunstâncias sem comprometer a instalação ou levantar encargos substanciais.

Os leitos de macrófitas, nomeadamente a sua vegetação, podem ser sensíveis a esta variação, tanto no caso de utilização máxima, com um volume e carga orgânica substancial, como nos períodos em que não há praticamente a produção de água residual, originando períodos em que podem não receber água com carga orgânica. Na eventualidade de haver a presença de compostos tóxicos nas águas residuais produzidas, pode surgir também a morte da vegetação, uma vez que não toleram estes compostos.

As lagoas de estabilização, em situação da produção de caudais menos volumosos, podem funcionar como tanques de armazenamento (nomeadamente as lagoas anaeróbias), tratando as águas em sistemas com lagoas em série quando o volume armazenado seja significativo e quando ou quando as condições climáticas sejam mais favoráveis.

## 4.6. SISTEMA DE TRATAMENTO SELECIONADO

Com base nos critérios selecionados e nas considerações feitas no capítulo anterior, foi tomada uma decisão quanto ao sistema mais adequado a implementar neste caso de estudo.

Optou-se por dimensionar e projetar um sistema de lagunagem, com base nas seguintes considerações:

- As lagoas de estabilização necessitam de menos área para serem implementadas e normalmente não incorporam um substrato filtrante, levando a custos capitais menores;
- A par dos leitos de macrófitas, são sistemas que apresentam boa eficiência nos processos biológicos de remoção de poluentes, os quais são beneficiados pelas temperaturas altas que se fazem sentir nos períodos mais quentes da área de estudo;
- São sistemas com procedimentos de arranque menos demorados, uma vez que não dependem do estabelecimento de uma população vegetativa;
- São sistemas robustos, flexíveis e resilientes a situações de choque hidráulico ou orgânico, tendo ainda a capacidade de tratar determinadas doses de metais pesados;
- Possibilidade de integrar as lagoas identificadas na Boomland numa das fases de tratamento, na eventualidade da viabilidade de impermeabilização, ou apenas como unidade recetora do efluente final tratado (armazenamento).

Ressalva-se, mais uma vez, que ambos os sistemas naturais de tratamento de águas residuais considerados, tinham uma aplicabilidade positiva na área de estudo, embora seja necessário optar, no trabalho presente, por um dos sistemas, para efeitos de dimensionamento e implementação.



#### 4.6.1. VISÃO GERAL

Tendo-se optado por avançar com um sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem, houve necessidade de definir a visão geral do sistema, especificando as várias unidades necessárias para compor o processo de tratamento, desde a entrada do efluente bruto, até à saída à descarga do efluente tratado

Para o processo de seleção das unidades de tratamento e o seu devido dimensionamento, foram feitas várias considerações e adotados pressupostos com base na seguinte bibliografia:

- [Dr. Cheng, 2016] “Sistemas Naturais de Tratamento de Águas Residuais” – conteúdos da disciplina de Tecnologias de Tratamento de Águas II, MIEA, FEUP [48]
- [Duncan Mara, 2003] “Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries” [46]
- [Marcus Von Sperling, 2007] “Waste Stabilisation Ponds” [54]

Os três autores partilham conhecimento no âmbito dos processos de lagunagem através da vasta experiência académica e profissional adquirida na área, fornecendo dados, equações, pressupostos e considerações baseados na aplicação prática destes sistemas e do seu estudo aprofundado.

Em primeiro lugar, é importante que o dimensionamento de um sistema natural de tratamento por lagunagem inclua um elevado grau de pré-tratamento, incluindo a remoção de areia, gorduras e sólidos em suspensão. Este passo é fundamental para evitar problemas nos processos de tratamento propriamente ditos, ou seja, nas unidades a jusante.

Depois de passar pelas unidades de tratamento preliminar, a disposição dos sistemas que integram lagoas de tratamento faz-se, normalmente, em série. O primeiro estágio costuma integrar uma ou mais lagoas anaeróbias, seguida(s) de lagoas facultativas e, caso o efluente ainda necessite de ser “polido”, uma ou mais lagoas de maturação ou sistemas equivalentes, como filtros rochosos ou mesmo leitos de macrófitas. Observa-se, usualmente, que o efluente resultante de sistemas de lagoas em série tem melhor qualidade do que o efluente resultante de apenas uma lagoa com o mesmo tamanho [46].

É possível observar o fluxograma típico de um processo de tratamento de águas residuais por lagunagem na Figura 50:

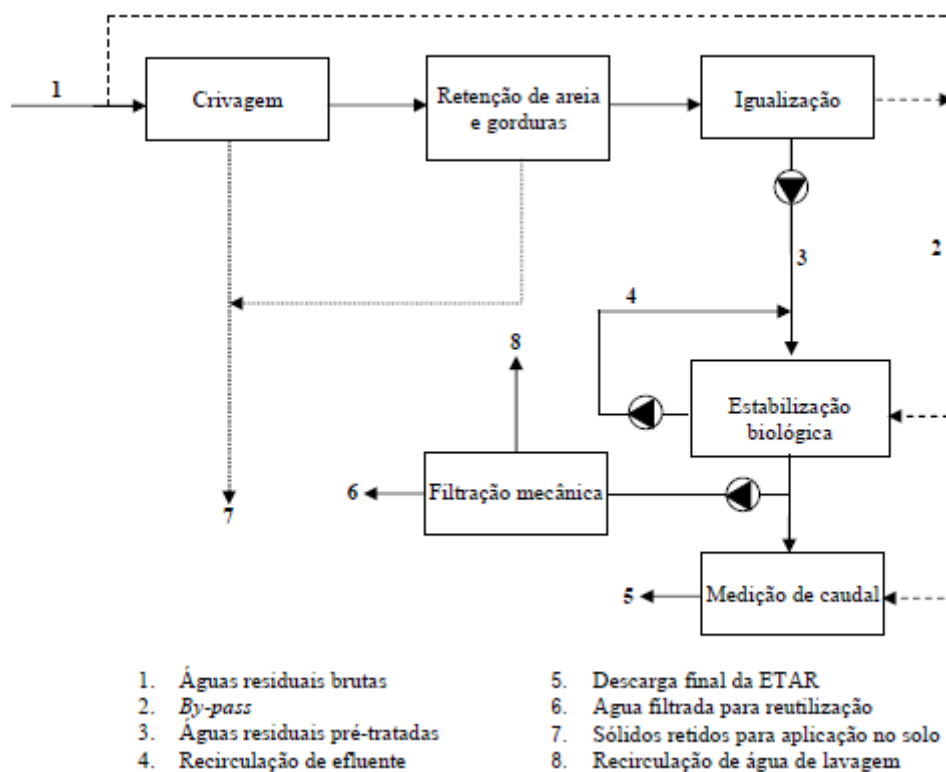


Figura 50 – Fluxograma típico de um processo de tratamento de águas residuais por lagunagem [48]

Com base no panorama já bem definido no que diz respeito à caracterização física e biofísica da área de estudo, como também no que diz respeito à quantidade e qualidade de águas residuais produzidas e sua variação temporal, foi possível desenvolver uma metodologia que, com base na bibliografia supramencionada, fosse lógica e adequada aos objetivos propostos.

Deste modo, propõe-se dimensionar e implementar um sistema natural de tratamento de águas residuais por lagunagem com as seguintes etapas:

- 1) Tratamento Preliminar
- 2) Etapa Anaeróbia / Homogeneização / Armazenamento
- 3) Etapa Facultativa
- 4) Etapa de Polimento
- 5) Descarga/Reutilização

#### 4.6.1.1. TRATAMENTO PRELIMINAR

Tradicionalmente, águas residuais contêm sólidos de dimensões consideráveis e areias que podem interferir com os processos de tratamento que ocorrem em sistemas de tratamento de águas residuais. De modo a minimizar possíveis problemas causados por estes componentes, é necessária a sua remoção através de tratamento preliminar, também designado por pré-tratamento. Os sistemas convencionais de tratamento de águas residuais (ETARs p.ex.) podem incluir tecnologias de pré-tratamento de triagem, remoção de areias, manuseamento de resíduos sépticos, controlo de odores, remoção de gorduras, equalizadores de caudal, entre outros [55].

Do espectro das tecnologias de pré-tratamento, as que se associam mais frequentemente aos sistemas de tratamento de águas residuais por lagunagem são as tecnologias de remoção de areias, gorduras e sólidos em suspensão (gradagem/crивagem) [48].

É então proposto um sistema de pré-tratamento para atuar sobre o efluente bruto proveniente da Boomland, antes de dar entrada nas lagoas de estabilização, constituído por:

- 1) Crivo Mecânico com limpeza automática – adequado para a crивagem fina para remoção de sólidos flutuantes e suspensos, com tamanhos entre 3 e 6 mm, de acordo com a passagem livre do crivo;**
- 2) Retenção gravítica de areia com limpeza manual;**
- 3) Retenção de gorduras com limpeza manual;**
- 4) Igualização da qualidade e controlo de caudal de alimentação à lagoa.**

A primeira etapa tem uma importância acrescida, uma vez que contribui significativamente para o bom funcionamento das lagoas de estabilização, tendo também um papel importante no aspeto visual.

Recomenda-se incluir as tecnologias supramencionadas numa “casa de pré-tratamento”, de maneira a atenuar maus odores e ruídos, conferindo ainda um grau de proteção acrescido à maquinaria e a possibilidade de armazenamento de materiais e ferramentas de manutenção. Não se incluirá, no entanto, o dimensionamento da estrutura que enclausura as unidades de pré-tratamento.

#### 4.6.1.2. ETAPA ANAERÓBIA

Atravessada a etapa de tratamento preliminar, é necessário conceber uma unidade que armazene e homogeneíze o efluente, ainda com um elevado grau de contaminação poluente. Na conceção convencional de sistemas de lagunagem esta etapa é traduzida na implementação de uma (ou mais) lagoa(s) anaeróbia(s) que, pela sua maior profundidade, promovem condições anaeróbias.

No âmbito deste caso de estudo, admite-se que esta unidade deva ter capacidade de armazenar todo o volume de água residual produzido na situação mais crítica, ou seja, na semana em que decorre o Boom Festival.

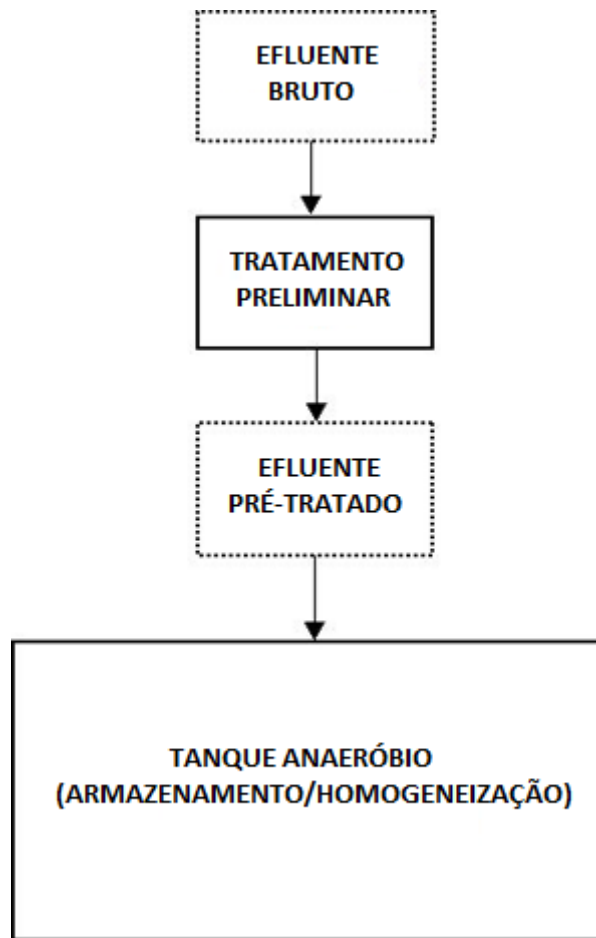
Embora se verifique que ocorrem processos de remoção de poluentes neste tipo de unidades, nomeadamente na redução da carga orgânica da água residual através da sedimentação dos sólidos sedimentáveis e a sua subsequente digestão anaeróbia no fundo da lagoa, o objetivo principal no presente caso de estudo será o armazenamento e homogeneização da água residual.

Tendo em consideração a variabilidade dos caudais produzidos na área de estudo ao longo do tempo, há que ter presente a amplitude que é necessária na operacionalidade desta unidade, uma vez que atuando como tanque de armazenamento/homogeneização da água residual, esta vai regular o caudal de tratamento para as unidades a jusante.

Uma vez que esta unidade terá de conseguir, pelo menos, armazenar toda a água residual produzida nos oito dias em que ocorre o Boom Festival, é possível prever que as dimensões necessárias para tal efeito serão de escala considerável. Assim, tendo em consideração este facto, aliado ao objetivo proposto de tentar executar um sistema com custos reduzidos, elaborou-se a seguinte hipótese para a etapa anaeróbia:

- Dimensionar e implementar um **Tanque Anaeróbio (homogeneização e armazenamento)** com forma cúbica ou paralelepipedal, em betão, que promova condições anaeróbias, com capacidade suficiente para receber a totalidade das águas residuais produzidas durante o curso do evento de pico de utilização, o Boom Festival. Contrariamente aos cenários habituais de sistemas de lagunagem, optou-se por não se considerar a implementação de uma lagoa anaeróbia, pois devido às elevadas dimensões previstas para esta unidade, os custos associados à construção dos taludes das lagoas seriam significativamente elevados. Recomenda-se que a unidade seja enterrada e que seja estudada a aplicabilidade de septos ou equipamentos de homogeneização, de modo a reduzir a proliferação de odores e a evitar curto-circuitos na operação da unidade. Regulando a operacionalidade desta unidade é possível promover uma flexibilidade no que diz respeito ao circuito hidráulico do sistema, adaptando cenários de tratamento às variações que se verificam na produção de caudais de águas residuais ligados a eventos promovidos e condições meteorológicas.

A esquematização da hipótese considerada para a etapa anaeróbia do sistema de lagunagem a dimensionar e implementar, encontra-se na seguinte Figura 51:



*Figura 51 - Esquematização da hipótese considerada para a etapa anaeróbia*

NOTA: as dimensões das representações das várias unidades são meramente figurativas

Uma vez que esta etapa se foca, em grande parte, na homogeneização e armazenamento da água residual ainda fortemente contaminada, não se prevê que o efluente de saída desta unidade apresente grau de purificação suficiente para ser descarregado ou reutilizado, pelo que há necessidade de se integrarem etapas de tratamento posteriores.

#### 4.6.1.3. ETAPA FACULTATIVA

A jusante da etapa anaeróbia propõe-se implementar uma etapa facultativa, que consiste na implementação de lagoa(s) facultativa(s) secundária(s), uma vez que receberão o efluente proveniente da etapa anterior e não efluente bruto. Neste estágio, a água residual será retida tempo suficiente para que ocorra uma estabilização eficiente da matéria orgânica através dos processos fotossintéticos realizados pelas algas. A função principal desta etapa é, portanto, a remoção de  $\text{CBO}_5$ , embora possa ocorrer também, em menor escala, a remoção de alguns microrganismos patogênicos. A grande contrariedade deste tipo de lagoas prende-se pela quantidade de sólidos suspensos presentes no efluente de saída, fruto da abundância de algas que se formam, pelo que, será necessário um processo complementar de filtração, caso seja desejado que o efluente final não contenha estes organismos.

Tendo em consideração, o panorama da produção de águas residuais na área de estudo, propõe-se um sistema hidráulico flexível e com uma configuração que maximize a eficiência do sistema:

- **Duas Lagoas Facultativas instaladas em paralelo, com as mesmas dimensões**, isto é, cada uma com metade da capacidade necessária, calculada para etapa facultativa.

Com o objetivo de aumentar a flexibilidade operacional, sistemas de lagoas de estabilização podem utilizar mais que uma lagoa facultativa. Quando são implementadas lagoas em série, com um determinado tempo de retenção total, a eficiência é, em princípio, maior do que uma lagoa apenas com o mesmo tempo de retenção total. No entanto, a sobrecarga orgânica no primeiro estágio de lagoas pode ser uma problemática e o custo associado à divisão em várias unidades é significativo, uma vez que é sempre necessário a construção de taludes e outras estruturas complementares de cada unidade [46].

A esquematização da configuração proposta para a etapa facultativa encontra-se representada na Figura 52:



*Figura 52 - Esquematização proposta para a configuração da etapa facultativa*

NOTA: as dimensões das representações das várias unidades são meramente figurativas

#### 4.6.1.4. ETAPA DE POLIMENTO

A etapa de polimento é, normalmente, o último estágio de tratamento da água residual num sistema de tratamento por lagunagem, antes da mesma ser descarregada ou reutilizada. Nesta etapa pretende-se “polir” o efluente proveniente das fases de tratamento anteriores, mediante os parâmetros de qualidade requeridos para o efluente final.

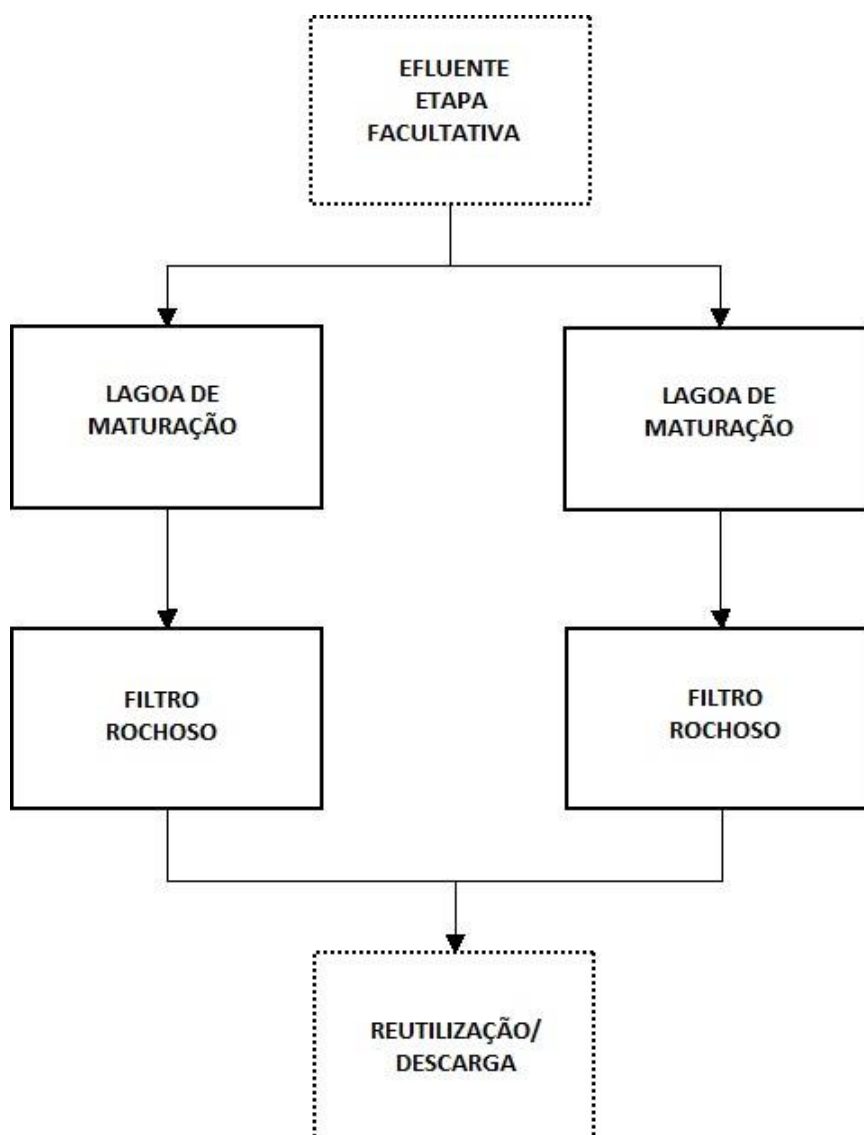
Mediante a intenção de se tentar reutilizar o efluente final do sistema de tratamento no regadio, propõem-se a seguinte hipótese relativa à configuração da etapa de polimento:

- **1º ESTÁGIO:** implementar **duas Lagoas de Maturação a funcionar em paralelo, com as mesmas dimensões**, que recebem o efluente proveniente das lagoas facultativas. Com a implementação destas unidades pretende-se que seja promovida a redução de microrganismos patogénicos, uma vez que a sua profundidade reduzida permite uma maior penetração da luz solar, que é usada pelas algas que se formam como fonte de energia. Desta forma, apesar de também se verificarem processos de remoção de CBO<sub>5</sub>, SST e alguns nutrientes de forma lenta, o principal da inclusão destas unidades no sistema de tratamento a dimensionar é a redução de vírus e bactérias patogénicas.
- **2º ESTÁGIO:** implementar **dois Filtros Rochosos (FR) a funcionar em paralelo, com a dimensões idênticas**, recebendo o efluente proveniente das lagoas de maturação. Com a implementação desta hipótese, haverá a clara intenção de filtrar o efluente através do substrato rochoso filtrante, de modo a remover os sólidos suspensos na forma de algas e a fração de CBO<sub>5</sub> pela qual são responsáveis. Removida a totalidade ou parte desta fração orgânica, obter-se-á um efluente com uma carga orgânica mais reduzida, sendo igualmente promovida a remoção de microrganismos patogénicos, CBO<sub>5</sub> e ocorrendo também nitrificação.  
O intuito da implementação destas unidades é complementar a etapa de polimento, filtrando o excesso de SST e CBO<sub>5</sub> associado às algas que se formam nas lagoas facultativa e de maturação.

No final da etapa de polimento deve ser analisada a qualidade da água tratada, avaliando a sua adequabilidade para a reutilização no regadio. Mediante a massa de algas acumulada nos filtros rochosos, será também possível estudar a sua aplicação na fertilização de solos destinados a agricultura, uma vez que estas possuem, normalmente, propriedades favoráveis a tal.



A esquematização da configuração proposta para a etapa de polimento encontra-se representada na Figura 53:



*Figura 53 - Esquematização proposta para a configuração da etapa de polimento*

NOTA: as dimensões das representações das várias unidades são meramente figurativas

#### 4.6.1.5. DESCARGA/REUTILIZAÇÃO

Uma vez que é intenção da entidade que ocupa e gere a área de estudo reutilizar pelo menos uma fração da água tratada para fins de regadio, é importante definir uma estratégia adequada para tal efeito.

Visto que o caso de estudo apresenta um elevado grau de incerteza associado à qualidade e quantidade da água residual produzida, são necessárias algumas precauções no que diz respeito aos processos de descarga e/ou reutilização.

Deste modo, embora fase etapa do presente trabalho ainda não tenham sido feitas considerações quanto ao possível local onde o sistema de tratamento a dimensionar possa ser alojado, a seguinte hipótese proposta relativa à descarga/reutilização da água residual tratada implica as seguintes considerações:

- Na saída da etapa final de tratamento do sistema a dimensionar, atentar as seguintes considerações:
  1. Caso o efluente final do processo de tratamento apresente uma qualidade ainda significativamente deteriorada, promover a **recirculação deste mesmo efluente para uma das etapas de tratamento anteriores** (etapa anaeróbia ou facultativa, preferencialmente);
  2. Implementar um **tanque de armazenamento** coberto ou fechado, com o fim de armazenar a água tratada desejada para reutilização. Este deverá ser equipado com um filtro mecânico com limpeza automática, de modo a remover as partículas suspensas de menor dimensão e ainda uma alimentação de caudal secundária, de modo a introduzir água limpa no tanque (proveniente de um poço ou furo), com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente destinado a reutilização.
  3. Implementar uma secção de descarga do efluente. Normalmente, sistemas de tratamento por lagunagem descarregam o seu efluente final para uma linha de água ou uma bacia. Para este caso de estudo, propõe-se **descarregar o efluente final para as lagoas já existentes na Boomland**, já devidamente identificadas previamente neste trabalho. Esta via implica implementar o sistema de tratamento por lagunagem nas imediações destas lagoas, embora sejam feitas considerações neste âmbito mais à frente no presente trabalho, uma vez que a área total ocupada pelo sistema de tratamento a implementar tem um papel decisivo nesta análise da localização.

#### 4.6.1.6. ESQUEMA SÍNTESE

Apresenta-se, na Figura 54, o esquema síntese relativo à estrutura proposta para o sistema de tratamento natural de águas residuais por lagunagem a dimensionar:

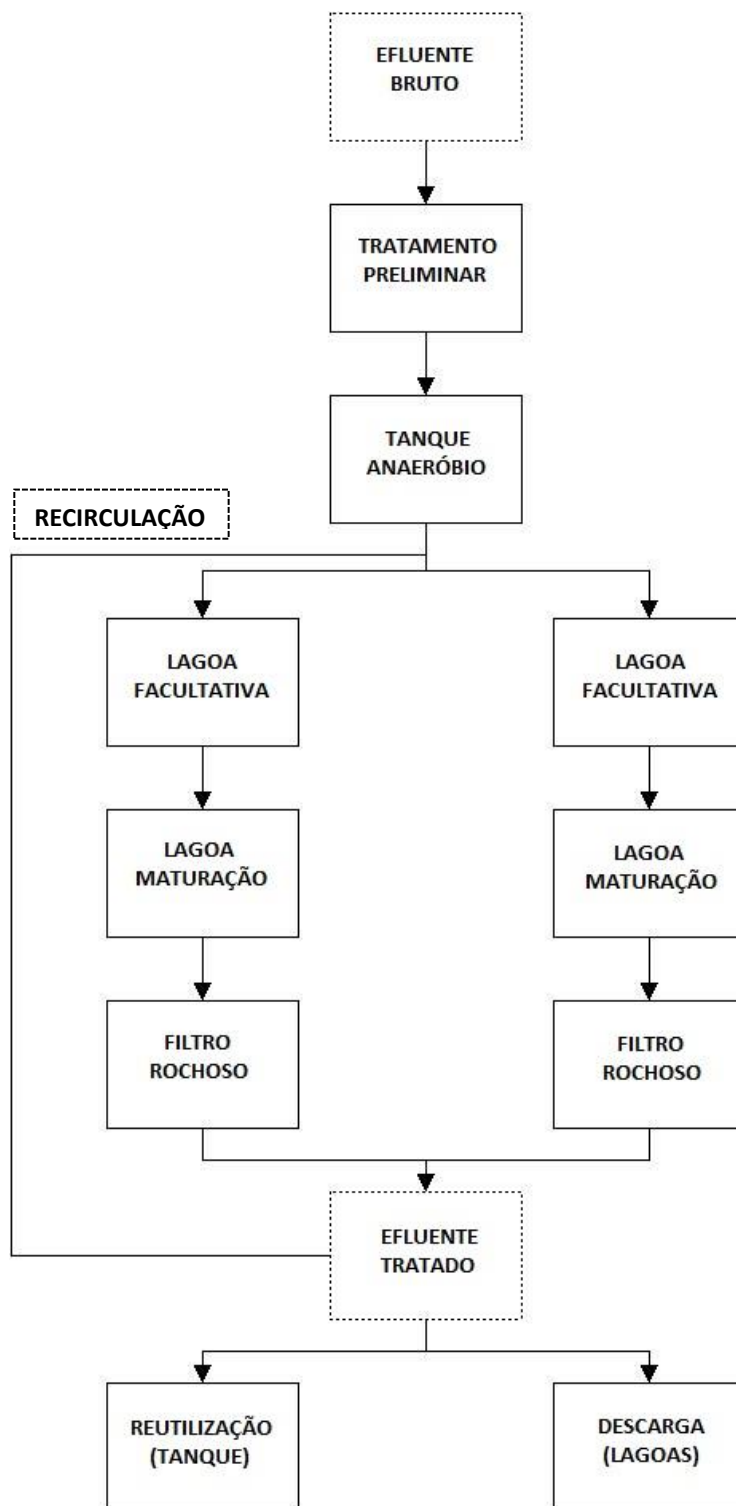


Figura 54 - Esquema síntese da estrutura proposta do sistema de tratamento a dimensionar

NOTA: as dimensões das representações das várias unidades são meramente figurativas

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 5. DIMENSIONAMENTO

Já definida a visão geral do sistema a implementar, procedeu-se então ao dimensionamento das várias unidades que o compõem. Numa primeira abordagem, o principal objetivo passa pela obtenção das dimensões das unidades necessárias para o sistema de tratamento por lagunagem, ou seja, definir o seu *design*. Mais adiante serão feitas também considerações envolvendo a geometria das unidades de tratamento e a sua operação.

Ressalva-se, mais uma vez, que **o processo de dimensionamento incide sobre o evento de pico de produção de águas residuais, o Boom Festival**, sendo feitas apreciações com base nas ocorrências incluídas nesse período temporal.

Os dados associados à quantidade e qualidade da água a tratar para efetuar o processo de dimensionamento do sistema de tratamento por lagunagem envolvem **o volume de água residual produzido durante os oito dias em que ocorre o Boom Festival ( $m^3$ ); e a  $CBO_5$  associada a este mesmo volume ( $mg/L$ )**. No que diz respeito à composição qualitativa da água residual, apenas se considerou o parâmetro  $CBO_5$ .

Dada a magnitude da incerteza associada ao panorama que envolve a quantidade e qualidade da água residual produzida na área de estudo, uma vez que não há um controlo e monitorização rígida destes aspetos, acrescentando o facto de se admitir uma certa facilidade em haver mudanças nos usos e práticas que ocorrem na Boomland, **admite-se um fator de segurança de 50% no processo de dimensionamento**. Neste caso específico, este fator foi aplicado à quantidade e qualidade da água residual produzida na área de estudo durante a decorrer do Boom Festival, ou seja, na prática, para efeitos de segurança e prevenção, admite-se que é produzido um volume de água residual 50% mais elevado do que a realidade, também com o valor de  $CBO_5$  inflacionado em 50%. Desta forma, o sistema a implementar estará preparado para situações contingentes e eventuais variações ou imprevisibilidades no panorama atual das utilizações da área de estudo.

Tendo em consideração que o rendimento dos processos de tratamento de poluentes que ocorrem nestes sistemas aumenta com o aumento da temperatura e pelo facto da produção de água residual ser mínima nos meses mais frios, pois não são promovidos quaisquer eventos, será altamente benéfico promover o tratamento da água residual apenas nos meses mais quentes. Como tal, a água residual produzida nos meses mais frios deverá ser armazenada e apenas tratada nos meses com temperaturas mais elevadas ou quando estritamente necessário. Desta forma, admite-se, para efeitos de dimensionamento, que **o tratamento é promovido apenas nos meses mais quentes do ano**, por sua vez considerando os meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro. Esta consideração influencia os cálculos de dimensionamento, uma vez que os parâmetros meteorológicos são relevantes para os mesmos.

## 5.1. CENÁRIOS DE TRATAMENTO

Feitas as devidas considerações, admitiram-se dois cenários de tratamento para as águas residuais produzidas na Boomland, baseados nos dados associados à água residual e alguns pressupostos assumidos. É importante voltar a sublinhar, neste registo, que atualmente não há qualquer rede de saneamento na área de estudo, embora se admita que os dois tipos de águas residuais produzidas na Boomland (água cinzenta e lixiviado WCs compostáveis) são passíveis de ser encaminhadas junta ou separadamente através de um sistema de esgoto para o sistema de tratamento a implementar. Contudo, não é objetivo deste trabalho dimensionar uma rede de saneamento que sirva a área de estudo. Os valores referentes aos parâmetros com importância para o processo de dimensionamento, quer quantitativamente, quer qualitativamente, têm por base as considerações e pressupostos feitos nos capítulos 4.3 e 4.4.

Admitem-se, desta forma, os seguintes cenários:

- **CENÁRIO 1:** admite-se o **tratamento dos dois tipos de águas residuais em conjunto**, ou seja, há a mistura das águas residuais cinzentas com o lixiviado das WCs compostáveis. A exequibilidade deste cenário passaria pela implementação de um sistema de esgoto que encaminhasse os dois efluentes misturados até ao sistema de tratamento. Com a implementação deste cenário, é promovido o tratamento da totalidade das águas residuais produzidas na área de estudo, embora se possa falar quase de uma “contaminação orgânica” das águas residuais cinzentas, pela adição dos lixiviados dos sanitários compostáveis, uma vez que estes possuem um valor de CBO<sub>5</sub> cerca de trinta vezes superior às primeiras, embora apresentem um volume trinta vezes inferior. Com base nas considerações já feitas em capítulos prévios deste trabalho, nomeadamente em relação à quantidade e qualidade da água residual produzida durante o Boom Festival, definem-se os dados relativos a este cenário na Tabela 16:

*Tabela 16 – Cenário 1 – Tratamento dos dois tipos de águas residuais em conjunto*

CENÁRIO 1 - TRATAMENTO DOS DOIS TIPOS DE ÁGUAS RESIDUAIS EM CONJUNTO		
	Volume (m <sup>3</sup> )	CBO <sub>5</sub> (g/m <sup>3</sup> )
Lixiviados WCs Compostáveis	150	15000
Águas Cinzentas	5250	500
Total	5400	903
Total x 1,5 [Fator de Segurança 50%]	≈ 8100	1354

NOTA: alguns valores considerados na tabela foram aproximados

- CENÁRIO 2: apenas se admite o tratamento das águas residuais cinzentas** produzidas na área de estudo, uma vez que representam quase a totalidade do volume de água residual produzido e a sua carga orgânica apresenta um valor muito mais reduzido, em comparação com os lixiviados das WCs compostáveis. É um cenário que facilita os processos de tratamento das lagoas de estabilização, devido à menor carga orgânica da água residual que é sujeita a tratamento, embora remanesça a problemática do tratamento das águas negras produzidas (lixiviados dos sanitários compostáveis). Com base nas considerações já feitas em capítulos prévios deste trabalho, nomeadamente em relação à quantidade e qualidade da água residual produzida durante o Boom Festival, definem-se os dados relativos a este cenário na Tabela 17:

*Tabela 17 - Cenário 2 - Tratamento de apenas águas residuais cinzentas*

<b>CENÁRIO 2 - TRATAMENTO DE APENAS AS ÁGUAS RESIDUAIS CINZENTAS</b>		
	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>CBO<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Águas Cinzentas</b>	5250	500
<b>Total</b>	5250	500
<b>Total x 1,5 [Fator de Segurança 50%]</b>	<b>≈ 7900</b>	<b>750</b>

NOTA: alguns valores considerados na tabela foram aproximados



## 5.2. PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Os parâmetros meteorológicos adotados no processo de dimensionamento do sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem, têm por base a caracterização climática feita previamente neste trabalho. Os valores adotados no processo de dimensionamento são referentes à média dos cinco meses mais quentes do ano, na área de estudo, uma vez que se admite, como já foi referido, que o tratamento deve e tem condições para ser promovido nestas alturas do ano.

Com base nos parâmetros relevantes no processo de dimensionamento e na caracterização climática da área de estudo, nomeadamente a Tabela 7, calcularam-se os valores diários desses mesmos parâmetros para os cinco meses considerados, apresentados na Tabela 18:

*Tabela 18 - Cálculo dos valores diários médios dos parâmetros meteorológicos considerados nos meses mais quentes do ano*

		Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Média
Valores Mensais	T média (°C)	21,00	24,00	23,50	21,00	16,50	<b>21,20</b>
	Etp (mm)	117,14	146,47	131,71	97,46	61,83	<b>110,92</b>
	Precip. (mm)	10,00	2,00	3,00	24,00	83,00	<b>24,40</b>
Valores Diários	T média (°C)	21,00	24,00	23,50	21,00	16,50	<b>21,20</b>
	Etp (mm)	3,90	4,72	4,25	3,25	1,99	<b>3,62</b>
	Precip. (mm)	0,33	0,06	0,10	0,80	2,68	<b>0,79</b>

Mediante os valores médios obtidos para a área de estudo, relativos aos parâmetros meteorológicos considerados relevantes para o processo de dimensionamento, adotaram-se valores como dados a usar no processo de dimensionamento, apresentados na Tabela 19:

*Tabela 19 - Valores adotados relativos aos parâmetros meteorológicos relevantes para o processo de dimensionamento*

Parâmetro	Valor
Temperatura média do ar (°C)	20
Precipitação diária média (mm/d)	0,8
Evapotranspiração diária média (mm/d)	4,0

Os valores adotados sofreram algumas alterações e arredondamentos. Relativamente à temperatura média do ar, foi adotado um valor um pouco inferior de modo a associar um pouco mais de segurança ao processo de dimensionamento, uma vez que este parâmetro tem uma importância extrema nestes processos de tratamento. Como tal, admite-se uma situação um pouco mais desfavorável do que a realidade.

### 5.3. CONFIGURAÇÃO-BASE DAS ETAPAS DE TRATAMENTO

Apresentam-se na Tabela 20 as várias unidades que se propõem dimensionar, mediante as hipóteses propostas para cada etapa de tratamento e os dois cenários de tratamento elaborados, com o objetivo de dar uma perspetiva geral do sistema de tratamento a dimensionar e as suas variantes.

*Tabela 20 - Síntese das considerações-base do processo de dimensionamento*

		Cenário 1	Cenário 2
<b>ETAPA ANAERÓBIA</b>		Um tanque anaeróbio que recebe, armazena e homogeneiza o efluente misturado (águas cinzentas mais lixiviados WCs compostáveis)	Um tanque de anaeróbio que recebe, armazena e homogeneiza o efluente constituído por apenas águas residuais cinzentas
<b>ETAPA FACULTATIVA</b>		Duas lagoas facultativas a funcionar em paralelo, com a mesma dimensão, que recebem o efluente misturado da etapa anaeróbia.	Duas lagoas facultativas a funcionar em paralelo, com a mesma dimensão, que recebem a água cinzenta da etapa anaeróbia.
<b>ETAPA DE POLIMENTO</b>	<b>1º Estágio</b>	Duas lagoas de maturação, a funcionar em paralelo, com a mesma dimensão, que recebem o efluente misturado da etapa facultativa	Duas lagoas de maturação, a funcionar em paralelo, com a mesma dimensão, que recebem a água cinzenta da etapa facultativa
	<b>2º Estágio</b>	Dois FR a funcionar em paralelo, com a mesma dimensão, que recebem o efluente misturado das lagoas de maturação	Dois FR a funcionar em paralelo, com a mesma dimensão, que recebem a água cinzenta da etapa facultativa

## 5.4. ETAPA ANAERÓBIA

Comummente, as lagoas anaeróbias são dimensionadas com base na carga orgânica volúmica, ou carga de CBO<sub>5</sub> volúmica, que a unidade estará sujeita a receber, no entanto, como já foi referido anteriormente, optou-se por dimensionar um tanque anaeróbio ou de homogeneização/armazenamento, e não uma lagoa anaeróbia com o seu formato tradicional, ou seja, com a construção de taludes nas suas extremidades. Contudo, visto que as funções de ambas as unidades de tratamento são equivalentes, foram feitas algumas considerações válidas para o dimensionamento de lagoas anaeróbias, aplicadas, neste caso, a um tanque anaeróbio.

Assim sendo, em primeiro lugar, foram definidos alguns dados de entrada relevantes para o processo de dimensionamento, nomeadamente:

- Caudal máximo de entrada no tanque anaeróbio (evento de pico – Boom Festival):

$$Q_e(m^3/d) = \frac{\text{Volume de água residual produzido } (m^3)}{\text{Duração } (d)} \quad (\text{Eq.3})$$

Apresenta-se na Tabela 21 o cálculo do caudal de entrada máximo no tanque anaeróbio:

Tabela 21 - Cálculo do caudal de entrada máximo no tanque anaeróbio

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Volume de água residual considerado* (m <sup>3</sup> )	8100	7900
Tempo - duração do festival (d)	8	8
Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /d)	<b>1013</b>	<b>988</b>

NOTA: estes parâmetros apresentam valores com fator de segurança associado

### 5.4.1. CAPACIDADE

Como o dimensionamento desta unidade deve ser feito com base na situação mais desfavorável, ou seja, neste caso, quando se prevê o máximo valor de caudal de água residual a entrar no sistema de tratamento, considera-se que a capacidade do tanque de homogeneização/armazenamento tem de ser suficiente para dar resposta a tal pico. Identificado este evento de pico de utilização, o Boom Festival, e o caudal que é produzido durante a sua ocorrência, admite-se a **capacidade do tanque anaeróbio igual a 8000 m<sup>3</sup>**. Tendo em conta que este valor já apresenta um fator de segurança de 50% associado, entendeu-se como válido assumir que a capacidade dimensionada do tanque seja igual para os dois cenários, ou seja, aproximadamente igual ao volume de água residual produzido no decorrer do Boom Festival.

### 5.4.2. PROFUNDIDADE

A profundidade destas unidades deve ser elevada, de modo a garantir a predominância de condições anaeróbias. Os trabalhos dos três autores considerados, que foram tomados como referência na linha de orientação do processo de dimensionamento, referem que a profundidade destas unidades pode variar entre 3 e 5 m. Pode-se considerar, até, que quanto mais profunda for a unidade, melhor é o seu desempenho, embora escavações mais profundas sejam, normalmente, mais dispendiosas.

Como tal, de forma a assegurar condições anaeróbias, juntamente com a tentativa de minimizar os custos de investimento, **admite-se uma profundidade de 3,5 m** para o tanque anaeróbio de homogeneização/armazenamento a implementar no sistema de tratamento por lagunagem.

### 5.4.3. ÁREA

De modo a estimar a área que esta unidade necessita para a sua implementação, procedeu-se ao seguinte cálculo:

$$\text{Área ocupada tanque anaeróbio (m}^2\text{)} = \frac{\text{Volume da unidade (m}^3\text{)}}{\text{Profundidade da unidade(m)}} \quad (\text{Eq.4})$$

$$\leftrightarrow \text{Área ocupada tanque anaeróbio (m}^2\text{)} = \frac{8000}{3,5} = \mathbf{2286 \text{ m}^2}$$

Verifica-se, então, que o tanque anaeróbio a implementar ocupa uma área de cerca de **2286 m<sup>2</sup>**. Ressalva-se que esta área considerada é apenas área útil, ou seja, não inclui a espessura das paredes do tanque ou outras considerações estruturais. Importante de referir também que a área calculada é comum aos dois cenários, uma vez que os parâmetros usados no seu cálculo são também iguais.

#### 5.4.4. CARGA ORGÂNICA VOLÚMICA

Embora se tenha optado por dimensionar um tanque e já se tenha definido o volume e área que a unidade necessita, é relevante ter uma perspectiva da dimensão da carga orgânica volúmica que a unidade vai receber. Deste obtém-se, também, uma noção da diferença deste parâmetro para os dois cenários considerados, uma vez que o valor da CBO<sub>5</sub> dos dois efluentes têm valores diferentes.

Dado isto, a carga orgânica volúmica ( $\lambda_v$ ) é dada por [46]:

$$\lambda_v \left( \frac{g}{m^3 d} \right) = \frac{C_e Q}{V_a} \quad (\text{Eq.5})$$

onde

$\lambda_v$  = Carga orgânica volúmica (g/m<sup>3</sup>.d)

$C_e$  = CBO<sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)

$Q_e$  = Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d)

$V_a$  = Volume da lagoa anaeróbia (m<sup>3</sup>)

Como tal, pela Equação 5 foi possível calcular a carga orgânica volúmica relativa ao tanque anaeróbio, apresentando-se os resultados obtidos na Tabela 22:

*Tabela 22 - Cálculo da carga orgânica volúmica (tanque anaeróbio)*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /d)	1013	988
CBO <sub>5</sub> efluente de entrada (mg/L)	1450	750
Volume da lagoa anaeróbia (m <sup>3</sup> )	8000	8000
$\lambda_v$ (g/m <sup>3</sup> d)	171	93

O valor deste parâmetro é normalmente assumido ou estimado com base na temperatura do mês mais frio do ano, e o seu valor permissível aumenta com a temperatura do ar. É definido, habitualmente, um limite inferior para este parâmetro na ordem dos 100 g/m<sup>3</sup>d, de modo a serem asseguradas condições anaeróbias na unidade, e um limite superior na ordem dos 350 g/m<sup>3</sup>d, de forma a serem evitados problemas relacionados com odores.

#### 5.4.5. TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICO

O tempo de retenção hidráulico é o período temporal médio que determinada quantidade de água residual permanece numa unidade de tratamento (reator), antes de ser descarregada no caudal de saída.

O cálculo do tempo de retenção hidráulico ( $\theta$ ) para lagoas anaeróbias é determinado, através da Equação 6 [46]:

$$\theta_a(d) = \frac{V_a(m^3)}{Q_s(m^3/d)} \quad (\text{Eq.6})$$

em que

$\theta_a$  = tempo de retenção hidráulico da lagoa anaeróbia (d)

$V_a$  = volume da lagoa da anaeróbia ( $m^3$ )

$Q_s$  = caudal de saída da lagoa anaeróbia ( $m^3/d$ )

A gama de valores considerada para este parâmetro varia um pouco mediante os autores considerados, embora, habitualmente, se verifiquem valores entre 3 a 6 dias. Contudo, há a recente tendência de reduzir estes valores para 2 dias ou mesmo 1 dia. Com tempos de retenção hidráulicos menores do que 3 dias, os organismos formadores de metano podem ser removidos da unidade, não permitindo que se forme e mantenha uma população microbiana estável. Esta perturbação faz com que o rendimento da unidade diminua e que se acumulem ácidos na água residual, gerando maus odores. Com tempos de retenção superiores a 6 dias, há o risco da lagoa anaeróbia se comportar, ocasionalmente, como uma lagoa facultativa. Este fenómeno pode levar à presença de oxigénio na unidade, que é fatal para os organismos formadores de metano.

No entanto, neste caso de estudo, em particular, não se procedeu ao cálculo do tempo de retenção hidráulico através da Equação 6, uma vez que a principal função requerida para esta unidade é o armazenamento da água residual e o respetivo caudal de saída terá de ser estrategicamente controlado, mediante as alturas do ano e os eventos promovidos. Como tal, e visto que o processo de dimensionamento visa o evento de máxima utilização, o Boom Festival, **admite-se um tempo de retenção hidráulico de 8 dias**, a mesma duração deste mesmo evento. Pretende-se, portanto, que a unidade seja capaz de armazenar a água residual produzida nos 8 dias em que o evento ocorre, sem que haja caudal de saída para as etapas de tratamento a jusante.

#### 5.4.6. CAUDAL DE SAÍDA E OPERAÇÃO DA UNIDADE

É também importante definir o caudal de saída do tanque anaeróbio para as unidades de tratamento a jusante, nomeadamente, as duas lagoas anaeróbias paralelas. Como tal, definindo o tanque anaeróbio como unidade de armazenamento e homogeneização da água residual pré-tratada e admitindo que a capacidade (volume) definida é suficiente para albergar a totalidade da água residual produzida durante os 8 dias em que decorre o evento de utilização máxima, foi possível admitir um caudal de tratamento para as etapas a jusante.

Entende-se que um caudal de saída do tanque anaeróbio e consequentemente um caudal de tratamento para a etapa facultativa de **35 m<sup>3</sup>/d** é indicado, uma vez que irá minimizar a área necessária para a etapa facultativa e é suficiente para dar resposta à utilização do sistema.

Admite-se, então, o armazenamento e homogeneização da água residual produzida nos 8 dias do Boom Festival e, uma vez findado este período de tempo, promover um caudal de saída de 35 m<sup>3</sup>/d para as lagoas facultativas, a jusante. Ressalva-se que, para tal operação, é necessário esvaziar o tanque anaeróbio antes do início do festival.

A regulação do caudal para as etapas a jusante do tanque anaeróbio deve ser feita através da instalação de uma bomba variadora de frequência, admitindo-se que o escoamento do resto do sistema de tratamento é gravítico.

Como se prevê e admite que utilização do sistema de tratamento por lagunagem não é contínua, ou seja, não existirá operação constante da unidade durante o ano, é importante definir as ocasiões em que o objetivo é armazenar a água residual e as ocasiões em que se promove caudal de saída do tanque anaeróbio e existe operação de todo o sistema de tratamento. No que diz respeito à operação da unidade fora deste período de utilização máxima, será necessário que operadores com o devido conhecimento tenham a sensibilidade para tomar a decisão das ocasiões mais indicadas para promover a operação do sistema, podendo fazer variar até o caudal de saída, mediante as necessidades estabelecidas.

#### 5.4.7. CBO<sub>5</sub> DO EFLUENTE DE SAÍDA

Segundo Mara (2003), é possível estimar a remoção de CBO<sub>5</sub> nestas unidades, mediante a temperatura considerada.

Como tal, para a temperatura considerada de 20°C e com base na Equação 7, foi possível estimar a percentagem de remoção de CBO<sub>5</sub> para o tanque anaeróbio [46]:

$$\text{Remoção de CBO}_5 \text{ Tanque Anaeróbio (\%)} = 2T + 20 \quad (\text{Eq.7})$$

$$\text{Remoção de CBO}_5 \text{ (\%)} = 2 \times 20(^{\circ}\text{C}) + 20 = \mathbf{60\%}$$



Como tal, admitindo uma eficiência na remoção de  $\text{CBO}_5$  no tanque anaeróbio na ordem dos 60%, foi possível calcular o valor de  $\text{CBO}_5$  esperado no efluente de saída (Tabela 23):

*Tabela 23 - Cálculo do valor de  $\text{CBO}_5$  esperado no efluente de saída do tanque anaeróbio*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	20	20
$\text{CBO}_5$ efluente de entrada (mg/L)	1354	750
$\text{CBO}_5$ efluente de saída (mg/L)	542	300

#### 5.4.8. GEOMETRIA

Como já referido anteriormente, ao invés de ser implementada uma lagoa anaeróbia com o formato convencional, ou seja, com taludes, foi proposto implementar um tanque anaeróbio com forma cúbica ou paralelepipedal.

Contudo, uma vez que o objetivo da unidade a implementar é equivalente, a sua geometria é também um aspeto a ter em consideração, uma vez que interfere no seu regime hidráulico.

O formato geométrico retangular é o mais comum em lagoas de estabilização, embora exista uma vasta variação no que diz respeito ao rácio comprimento/largura. Estes rácios costumam ser mais reduzidos em lagoas anaeróbias ou lagoas facultativas primárias, onde existe uma carga orgânica mais elevada, de modo a evitar a sobrecarga orgânica junto à secção de entrada. Para estas unidades, o rácio comprimento/largura fixa-se, normalmente, entre 1/1 e 3/1. Dado estes valores, tanques ou lagoas anaeróbias tendem a ser mais quadrados, promovendo um regime hidráulico mais próximo da mistura completa, evitando a sobrecarga orgânica na secção de entrada.

Dadas estas considerações, determinou-se o seguinte formato geométrico relativo ao tanque anaeróbio, admitindo-se um **rácio comprimento/largura de 1,3**. Os resultados desta determinação apresentam-se na Tabela 24:

*Tabela 24 - Geometria admitida para o tanque anaeróbio*

Geometria	
Área (m)	2286
Largura (m)	42
Comprimento (m)	54
Rácio L/B	<b>1,3</b>
[Volume ( $\text{m}^3$ )	8000
Profundidade (m)	3,5

Na Figura 55 é possível observar uma representação esquemática da geometria adotada para o tanque anaeróbio:

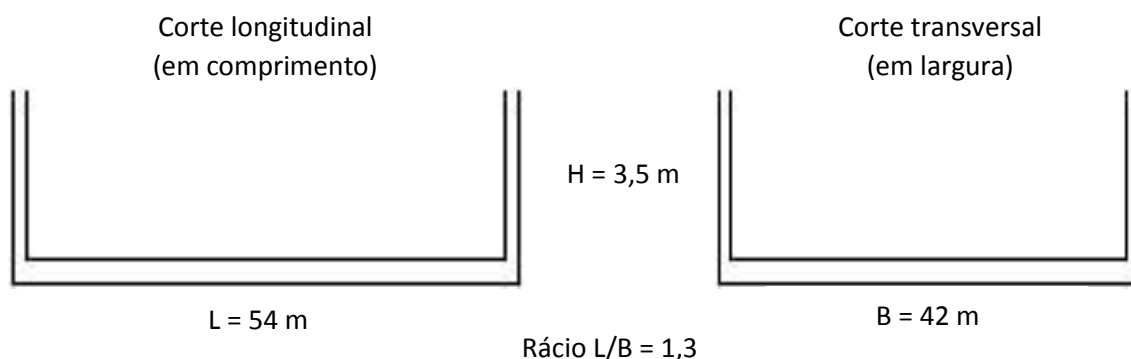


Figura 55 - Esquemática da geometria adotada para o tanque anaeróbio

NOTA: as representações não estão à escala; as medidas representadas não têm em consideração a espessura das paredes do tanque

## 5.5. ETAPA FACULTATIVA

A etapa facultativa engloba a implementação e dimensionamento de duas lagoas facultativas paralelas, cada uma com metade da capacidade necessária calculada para esta etapa. Os cálculos efetuados neste processo de dimensionamento foram referentes a apenas uma das duas lagoas paralelas sendo que, no final, se procedeu à análise da área e volume total ocupada pelas duas unidades a implementar.

Uma vez que estas lagoas são do tipo secundárias, ou seja, recebem o efluente da etapa de tratamento a montante, o tanque anaeróbio de armazenamento/homogeneização, foram definidos os dados de entrada, de acordo com os parâmetros relacionados com o efluente de saída da etapa anaeróbia (Tabela 25):

Tabela 25 - Parâmetros de entrada relativos à etapa facultativa

Parâmetro	Cenário 1	Cenário
<b>CBO<sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)</b>	542	300
<b>Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d)</b>	17,5*	17,5*

\*o valor do caudal de entrada considerado é metade do caudal de saída da etapa anaeróbia, uma vez que este se encaminha subdividido de forma igual para as duas lagoas facultativas paralelas.

### 5.5.1. CARGA ORGÂNICA SUPERFICIAL

Contrariamente às lagoas anaeróbias, as lagoas facultativas são dimensionadas com base na carga orgânica superficial ( $\lambda_s$ ), uma vez que a radiação solar necessária para a fotossíntese das algas provém do sol, na zona superficial da lagoa.

O valor admissível para este parâmetro aumenta com a temperatura, sendo possível o seu cálculo através da Equação 8 [46]:

$$\lambda_s = 350(1,107 - 0,002T)^{T-25} \quad (\text{Eq.8})$$

com

$\lambda_s$  = carga orgânica superficial (Kg/ha.d)

$T$  = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

Para a temperatura utilizada no processo de dimensionamento de 20 $^{\circ}\text{C}$ , foi calculado o valor de carga orgânica superficial admissível para esta etapa de tratamento, comum aos dois cenários considerados:

$$\lambda_s = 350(1,107 - 0,002 \times 20(^{\circ}\text{C}))^{20(^{\circ}\text{C})-25} = 253,1 \left( \frac{\text{kg}}{\text{ha.d}} \right)$$

### 5.5.2. ÁREA

A partir do cálculo de  $\lambda_s$ , foi possível calcular a área necessária para a implementação de uma das duas lagoas facultativas a implementar, através da Equação 9 [46]:

$$\lambda_s = \frac{10CeQ}{A_f} \quad (\text{Eq.9})$$

com

$\lambda_s$  = carga orgânica superficial (Kg/ha.d)

$C_e$  = CBO<sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)

$Q_e$  = caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d)

$A_f$  = área da lagoa facultativa (m<sup>2</sup>)

O cálculo da área da uma das lagoas facultativas apresenta-se na Tabela 26, mediante os dois cenários considerados:

*Tabela 26 - Cálculo da área de cada lagoa facultativa*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
CBO <sub>5</sub> efluente de entrada (mg/L)	542	300
Caudal entrada (m <sup>3</sup> /d)	17,5*	17,5*
Carga orgânica superficial (Kg/ha.d)	253,1	253,1
Área lagoa facultativa (m <sup>2</sup> )	<b>375</b>	<b>207</b>

### 5.5.3. PROFUNDIDADE

A profundidade das lagoas facultativas fixa-se, normalmente, entre 1 e os 1,8 m, com o valor de 1,5 m a ser habitualmente adotado. Com uma profundidade inferior a 1 m existe o risco de aparecimento de vegetação emergente, habitat ideal para a reprodução de mosquitos e moscas. Com profundidades superiores a 1,8 m, a oxipausa pode ficar situada demasiado próxima da superfície da lagoa e consequentemente levar a que predominem condições anaeróbias ao invés das desejadas condições aeróbias. No entanto, em climas áridos em que as taxas de evaporação são elevadas, é possível minimizar as perdas de água por evapotranspiração pelo aumento da profundidade até aos 2,5 m, reduzindo a área superficial da lagoa.

Tendo em consideração o clima quente e seco que se faz sentir na área de estudo, principalmente nas estações mais quentes, embora tendo em mente, também, a posição da oxipausa, adotou-se o valor de **2,2 m para a profundidade das lagoas facultativas**.

#### 5.5.4. CAUDAL DE SAÍDA

De modo a estimar o caudal de saída de cada uma das lagoas facultativas a implementar e, por consequência, o caudal de tratamento que vai dar entrada na etapa de polimento, é necessário considerar o funcionamento das unidades. Como tal, admite-se que a água residual que dá entrada nas lagoas facultativas paralelas com um caudal conjunto de 35 m<sup>3</sup>/d (17,5+17,5 m<sup>3</sup>/d), após o tempo de retenção hidráulico calculado, segue com o mesmo caudal para a etapa de polimento, apenas sofrendo uma ligeira redução devido ao volume de água que se perde por evapotranspiração. Como tal, segue-se a relação evidenciada na Equação 10, de modo a estimar o caudal de saída da etapa facultativa [46]:

$$Q_s = Q_e - 0,001eA_f \quad (\text{Eq.10})$$

com

$Q_s$  = caudal de saída de cada lagoa facultativa (m<sup>3</sup>/d)

$Q_e$  = caudal de entrada de cada lagoa facultativa (m<sup>3</sup>/d)

$e$  = taxa de evapotranspiração diária (mm/d)

$A_f$  = área da lagoa facultativa (m<sup>2</sup>)

Com base na Equação 10, foi calculado o caudal de saída de uma das duas lagoas facultativas a implementar, mediante os dois cenários de tratamento considerados, cujos resultados se apresentam na Tabela 27:

*Tabela 27 - Cálculo do caudal de saída de cada lagoa facultativa*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Caudal entrada lagoa facultativa (m <sup>3</sup> /d)	17,5	17,5
Taxa evapotranspiração diária (mm/d)	4,0	4,0
Área lagoa facultativa (m <sup>2</sup> )	401	207
Caudal saída lagoa facultativa (m <sup>3</sup> /d)	<b>16,0</b>	<b>16,7</b>

### 5.5.5. TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICO

Uma vez determinado o valor admissível de  $\lambda_s$  e a área da lagoa, juntamente com o valor adotado para a profundidade e o caudal considerado, foi possível calcular o tempo de retenção hidráulico ( $\theta$ ) de uma das lagoas facultativas, através da Equação 11 [46]:

$$\theta_f = \frac{2 \cdot A_f \cdot H_f}{2 \cdot Q_e - 0,001 \cdot e \cdot A_f} \quad (\text{Eq.11})$$

em que

$\theta_f$  = tempo de retenção hidráulico da lagoa facultativa (d)

$A_f$  = área da lagoa facultativa (m<sup>2</sup>)

$H_f$  = profundidade da lagoa facultativa (m)

$Q_e$  = caudal de entrada na lagoa facultativa (m<sup>3</sup>/d)

$e$  = taxa de evapotranspiração diária (mm/d)

Os valores calculados relativos ao tempo de retenção hidráulico para cada uma das lagoas facultativas a implementar apresentam-se na Tabela 28:

*Tabela 28 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa facultativa*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área lagoa facultativa (m <sup>2</sup> )	375	207
Profundidade lagoa facultativa (m)	2,2	2,2
Caudal entrada lagoa facultativa (m <sup>3</sup> /d)	17,5	17,5
Evapotranspiração diária (mm/d)	4,0	4,0
Tempo de retenção hidráulico (d)	<b>49</b>	<b>27</b>

O valor mínimo adotado para este parâmetro deve fixar-se nos 4/5 dias, dependendo da temperatura verificada, de modo a evitar o curto-circuito hidráulico na unidade e a assegurar que a população de algas tem tempo suficiente para se multiplicar. Contudo, os tempos de retenção hidráulico podem estender-se até aos 50 dias e, caso a operação da lagoa facultativa seja feita de forma intermitente, podem ser admitidos valores superiores.

### 5.5.6. REMOÇÃO DE CBO<sub>5</sub>

Estimou-se a eficiência desta unidade na remoção de matéria orgânica da água residual, de modo a ter uma percepção da CBO<sub>5</sub> da água que vai integrar a etapa a jusante.

De modo a estimar o valor de CBO<sub>5</sub> do efluente de saída da etapa anaeróbia, utilizou-se a Equação 12 [46]:

$$C_s = \frac{C_e}{1 + K_1 \theta_f} \quad (\text{Eq.12})$$

com

$C_s$  = CBO<sub>5</sub> do efluente de saída (mg/L)

$C_e$  = CBO<sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)

$\theta_f$  = tempo de retenção hidráulico (d)

$K_1$  = constante de primeira ordem de taxa de remoção de CBO<sub>5</sub> (d<sup>-1</sup>), dada pela Equação 13:

$$K_{1(T)} = K_{1(20)}(1,05)^{T-20} \quad (\text{Eq.13})$$

com

$T$  = temperatura do ar (°C)

$K_{1(20)} = 0,1 \text{ dia}^{-1}$  para lagoas facultativas secundárias (admitido)

Substituindo na Equação 13 [46]:

$$K_{1(T)} = 0,1(1,05)^{20-20} = \mathbf{0,10 \text{ d}^{-1}}$$

Calculado o valor de  $K_1$  para a temperatura de 20°C utilizada no processo de dimensionamento, foi possível substituir na Equação 12 e obter o valor de CBO<sub>5</sub> do efluente de saída da etapa facultativa. Admite-se que o efluente sai com a mesma concentração de CBO<sub>5</sub> nas duas lagoas facultativas paralelas. Juntamente com a determinação do valor de CBO<sub>5</sub> do efluente de saída desta etapa de tratamento, procedeu-se também ao cálculo eficiência de remoção associada, através da Equação 14:

$$\% \text{ remoção } CBO_5 = 100 - \left( \frac{C_e \times 100}{C_s} \right) \quad (\text{Eq.14})$$

Os resultados dos cálculos efetuados pelas Equações 12 e 14, mediante os diferentes cenários considerados, apresentam-se na Tabela 29:

*Tabela 29 - Cálculo da concentração de CBO<sub>5</sub> do efluente de saída de cada lagoa facultativa e a respetiva taxa de remoção*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
CBO <sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)	542	300
Tempo de retenção hidráulico (d)	49	27
K <sub>1(20)</sub> (d <sup>-1</sup> )	0,10	0,10
CBO <sub>5</sub> do efluente de saída (mg/L)	<b>91,5</b>	<b>81,7</b>
% remoção CBO <sub>5</sub> (%)	<b>83,1</b>	<b>72,8</b>

O valor calculado relativo à CBO<sub>5</sub> do efluente de saída de cada lagoa facultativa integra a fração de CBO<sub>5</sub> resultante da concentração de algas no efluente de saída, ou seja, o valor previamente calculado corresponde ao valor de CBO<sub>5</sub> não filtrado. Esta fração orgânica associada à presença de algas é responsável por 70 a 90% da CBO<sub>5</sub> total do efluente, pelo que foi possível estabelecer a relação entre a CBO<sub>5</sub> filtrada e não filtrada através da Equação 15 [46]:

$$C_f(\text{filtrada}) = F_{sa}[C_f(\text{não filtrada})] \quad (\text{Eq.15})$$

em que

$F_{sa}$  = fração sem algas da CBO<sub>5</sub> total = 0,3 (admitido que 70% da CBO<sub>5</sub> total advém das algas)

Os resultados dos cálculos relativos à fração de CBO<sub>5</sub> filtrada do efluente de saída das lagoas facultativas apresenta-se na Tabela 30:

*Tabela 30 - Cálculo da CBO<sub>5</sub> filtrada do efluente de saída*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
CBO <sub>5</sub> do efluente de saída (mg/L)	91,5	81,7
CBO <sub>5</sub> filtrada do efluente de saída (mg/L)	<b>27,5</b>	<b>24,5</b>



### 5.5.7. GEOMETRIA

Dado que as lagoas a implementar são do tipo secundárias, o rácio comprimento/largura pode tomar magnitude superior à considerada para a etapa anaeróbia, originando lagoas com formatos mais alongados. Este rácio pode chegar até aos 10/1, embora se situe, habitualmente, na ordem dos 2/1 a 4/1. Para a determinação da geometria das lagoas facultativa a implementar, admitiu-se um **rácio comprimento/largura de 3,4 para o cenário de tratamento 1 e 3,2 para o cenário de tratamento 2.**

Feitas estas considerações, admitiu-se a seguinte geometria relativa às lagoas facultativas (Tabela 31):

*Tabela 31 - Geometria adotada para as lagoas facultativas*

Geometria Lagoas Facultativas		
Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área (m <sup>2</sup> )	375	207
Largura (m)	10,5	8,0
Comprimento (m)	35,7	25,9
Rácio L/B	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>
Profundidade (m)	2,2	2,2

As áreas calculadas são áreas baseadas numa profundidade média, ou seja, as dimensões previamente calculadas são dimensões baseadas numa profundidade média. Estes valores necessitam de ser corrigidos uma vez que é necessário ter em consideração o formato real em que as lagoas são construídas, isto é, a aplicação de taludes inclinados nas suas extremidades. Os taludes dividem-se em taludes internos, que estão em contacto com a água residual, e taludes externos.

Como mecanismo de segurança, admite-se a implementação de um bordo livre, isto é, uma pequena distância de prevenção contra a eventualidade de um nível de água superior ao esperado no dimensionamento da unidade, devido a eventuais problemas no sistema de tratamento ou flutuações no caudal de efluente. Para lagoas com áreas inferiores a 1 ha é comum adotar o valor de 0,5 m para este parâmetro enquanto que para áreas superiores podem ser admitidos valores de 1 m. Para a implementação das lagoas facultativas em questão, admitiu-se o valor de **0,5 m para o bordo livre.**

Na Figura 56 apresenta-se uma esquematização da represa de uma lagoa, com a representação dos vários elementos que a constituem [54].

*Figura 56 - Esquematização da represa de uma lagoa  
Adaptado de Waste Stabilisation Ponds [54]*



É então necessário ajustar as dimensões calculadas para as lagoas facultativas a implementar, de modo a corresponder à sua configuração real.

As dimensões a considerar para o correto dimensionamento geométrico das lagoas passam pelas:

- Dimensões ao nível do fundo da lagoa;
- Dimensões ao nível da água;
- Dimensões ao nível do topo do talude.

Estes parâmetros dependem diretamente da inclinação do talude interno e admitindo que a estrutura que delimita internamente a lagoa tem um talude de 1/n (vertical/horizontal), as dimensões corrigidas podem ser calculadas através das seguintes equações [54]:

- Comprimento [L]

$$[L] \text{ fundo da lagoa} = [L] \text{ meia profundidade} - 2n \cdot \left( \frac{H_f}{2} \right) \quad (\text{Eq.16})$$

$$[L] \text{ nível da água} = [L] \text{ meia profundidade} + 2n \cdot \left( \frac{H_f}{2} \right) \quad (\text{Eq.17})$$

$$[L] \text{ topo do talude} = [L] \text{ nível da água} + 2n \cdot (\text{bordo livre}) \quad (\text{Eq.18})$$

- Largura [B]

$$[B] \text{ fundo da lagoa} = [B] \text{ meia profundidade} - 2n \cdot \left(\frac{H_f}{2}\right) \quad (\text{Eq.19})$$

$$[B] \text{ nível da água} = [B] \text{ meia profundidade} + 2n \cdot \left(\frac{H_f}{2}\right) \quad (\text{Eq.20})$$

$$[B] \text{ topo do talude} = [B] \text{ nível da água} + 2n \cdot (\text{bordo livre}) \quad (\text{Eq.21})$$

A esquematização referente à localização dos parâmetros considerados para o cálculo das dimensões relativas à geometria real das lagoas encontra-se representada na Figura 57:

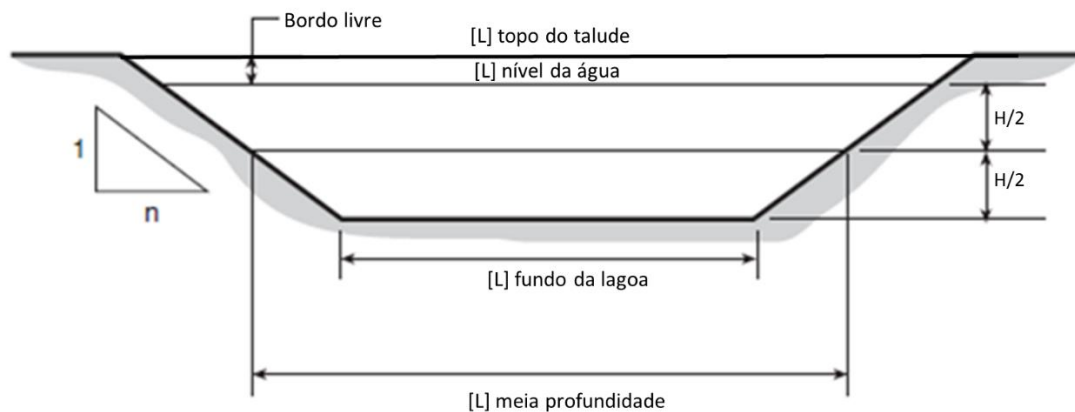


Figura 57 - Localização dos parâmetros considerados para o cálculo das dimensões relativas à geometria real das lagoas

Adaptado de *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries* [46]

**NOTA:** a esquematização é referente ao corte longitudinal (em comprimento), embora seja também válida para o corte transversal (em largura).

Através das considerações apresentadas para corrigir as dimensões relativas à geometria das lagoas facultativas, procedeu-se ao respetivo cálculo corretivo. Para tal, foi também necessário admitir um valor relativo à inclinação do talude interno. É comum este valor situar-se entre os 1:2 até aos 1:3 (vertical/horizontal) para qualquer lagoa de estabilização. Foi admitido **um valor de 1:2,5 relativo à inclinação do talude interno.**

Os resultados do cálculo corretivo previamente enunciado, apresentam-se na Tabela 32:

*Tabela 32 - Configuração corrigida das lagoas facultativas*

Geometria Lagoas Facultativas		
Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área a meia profundidade (m <sup>2</sup> )	375	207
[L] Comprimento a meia profundidade (m)	35,7	25,9
[B] Largura a meia profundidade (m)	10,5	8,0
Rácio L/B	3,4	3,2
Bordo livre (m)	0,5	0,5
Profundidade líquida (m)	2,2	2,2
Talude interno (vertical/horizontal) 1:2,5	2,5	2,5
[L] fundo da lagoa (m)	30,2	20,4
[L] nível da água (m)	41,2	31,4
[L] topo do talude (m)	43,7	33,9
[B] fundo da lagoa (m)	5,0	2,5
[B] nível da água (m)	16,0	13,5
[B] topo do talude (m)	18,5	16,0

No Anexo B apresentam-se os vários cortes com as dimensões corrigidas relativas às lagoas facultativas paralelas, mediante a esquematização presente na Figura 59.

Dado o cálculo das medidas corrigidas das lagoas facultativas, tendo agora em consideração a geometria real das mesmas, isto é, com a aplicação de taludes, foi possível proceder ao cálculo das respetivas áreas superficiais, isto é, a área que as lagoas ocupam ao nível do topo dos taludes.

Para tal, considerou-se a área da lagoa como a superfície retangular de dimensões (Equação 22):

$$\text{Área superficial (m}^2\text{)} = [L] \text{ topo do talude} \times [B] \text{ topo do talude} \quad (\text{Eq.22})$$

Os resultados dos cálculos efetuados segundo a Equação 22 apresentam-se na Tabela 33:

*Tabela 33 - Cálculo das áreas superficiais das lagoas facultativas*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
[L] topo do talude (m)	43,7	33,9
[B] topo do talude (m)	18,5	16,0
Área superficial (m <sup>2</sup> )	≈ 808	≈ 543

### 5.5.8. VOLUME ÚTIL E VOLUME TOTAL

Entende-se por volume útil o volume calculado com base na altura da água na lagoa de estabilização (profundidade líquida), enquanto o volume total é o volume calculado com base na altura (profundidade total) a que se encontra o topo do talude.

O volume de uma lagoa de forma retangular pode ser calculado através da Equação 23 [48]:

$$Volume (m^3) = \left[ \frac{(4 \times n^2 \times H^3)}{3} \right] + (n \times [L] FL \times H^2) + (n \times [B] FL \times H^2) + ([L] FL \times [B] FL \times H) \quad (Eq.23)$$

em que

$n$  = inclinação do talude (horizontal/vertical)

$H$  = profundidade (m)

$[L] FL$  = comprimento do fundo da lagoa (m)

$[B] FL$  = largura do fundo da lagoa (m)

Adaptando o parâmetro  $H$  à profundidade da água (profundidade líquida) foi possível obter o volume útil, enquanto que utilizando a altura (profundidade total) do topo do talude, foi possível obter o volume total ocupado por uma das lagoas facultativas.

Os resultados obtidos relativos ao cálculo dos volumes úteis e totais de cada lagoa facultativa apresentam-se na Tabela 34:

*Tabela 34 - Cálculo dos volumes úteis e totais de cada lagoa facultativa*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Talude interno (vertical/horizontal) 1:2,5	2,5	2,5
Profundidade líquida (m)	2,2	2,2
Profundidade topo talude (m)	2,7	2,7
[L] fundo da lagoa (m)	30,2	20,4
[B] fundo da lagoa (m)	5,0	2,5
Volume útil (m <sup>3</sup> )	≈ 846	≈ 479
Volume total (m <sup>3</sup> )	≈ 1212	≈ 720

### 5.5.9. SÍNTESE DE DIMENSIONAMENTO DA ETAPA FACULTATIVA

Dimensionadas as várias unidades que compõem a etapa facultativa e tendo em consideração que o raciocínio apenas foi aplicado a uma das lagoas, apresenta-se na Tabela 35 o resumo do panorama conjunto das duas unidades paralelas de tratamento que compõem a etapa facultativa:

*Tabela 35 - Panorama conjunto das duas lagoas facultativas*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área a meia profundidade (m <sup>2</sup> )	750	415
Área superficial (m <sup>2</sup> )	1616	1086
Volume útil (m <sup>3</sup> )	1692	957
Volume total (m <sup>3</sup> )	2425	1440
Tempo de retenção hidráulico (d)	49	27
Caudal saída total (m <sup>3</sup> /d)	32,0	33,3
CBO <sub>5</sub> efluente saída* (mg/L)	91,5	81,7
% remoção CBO <sub>5</sub> (%)	83,1	72,8

\*valor referente à fração não filtrada

## 5.6. ETAPA DE POLIMENTO

Relativamente à etapa de polimento, foram propostos dois estágios de tratamento com unidades distintas. O primeiro estágio engloba a implementação de duas lagoas de maturação instaladas em paralelo e o segundo a implementação de dois filtros rochosos também instalados em paralelo. Lembra-se que as duas lagoas de maturação recebem o efluente proveniente das lagoas facultativas, enquanto que os filtros rochosos complementam o tratamento destas unidades, recebendo o seu efluente, antes de descarregarem o mesmo para o seu destino final.

### 5.6.1. 1º ESTÁGIO - LAGOAS DE MATURAÇÃO

Da mesma forma que se procedeu ao dimensionamento das lagoas facultativas, os cálculos para o dimensionamento das lagoas de maturação incidiram sobre apenas uma das duas unidades a serem instaladas em paralelo, uma vez que são iguais. No entanto, no final foi feita uma análise conjunta, de modo a ter a perceção da área e volume total que as duas unidades ocupam.

Embora estas unidades funcionem com o principal objetivo de reduzir o número de microrganismos patogénicos ou, ocasionalmente, para a remoção de nutrientes, o processo de dimensionamento teve como base o mesmo raciocínio das etapas anteriores, ou seja, teve como base o parâmetro  $CBO_5$ . Admite-se, no entanto, que o principal objetivo da implementação destas unidades continua a passar pela redução de bactérias e vírus patogénicos, embora o processo de dimensionamento não se baseie em tal, também devido à insuficiência de dados relativos a estes microrganismos.

O processo de dimensionamento das lagoas de maturação considerado é em muito semelhante ao das lagoas facultativas, pelo que foi necessário recorrer e adaptar algumas equações enunciadas no capítulo anterior.

Apresentam-se, em primeiro lugar, na Tabela 36 os dados de entrada desta etapa, relativos ao caudal e à  $CBO_5$ :

*Tabela 36 - Parâmetros de entrada relativos às lagoas de maturação*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário
$CBO_5$ do efluente de entrada (mg/L)	91,5	81,7
Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /d)	16,0	16,7

Os valores de  $CBO_5$  considerados correspondem à fração não filtrada do efluente de saída das lagoas facultativas, uma vez que entre estas e as lagoas de maturação não se considera qualquer processo de filtração.

#### 5.6.1.1. CARGA ORGÂNICA SUPERFICIAL

Também as lagoas de maturação são dimensionadas com base na carga orgânica superficial ( $\lambda_s$ ), uma vez que a radiação solar necessária para a fotossíntese das algas e para a remoção de microrganismos patogênicos provém do sol, na zona superficial da lagoa.

Uma vez que este parâmetro é calculado com base na temperatura, mantendo o valor de 20°C neste processo de dimensionamento, o valor da  $\lambda_s$  é o mesmo do que o já previamente calculado na etapa facultativa, através da Equação 8:

$$\lambda_s = 350(1,107 - 0,002 \times 20(^{\circ}\text{C}))^{20(^{\circ}\text{C})-25} = 253,1 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot \text{d}$$

#### 5.6.1.2. ÁREA

Uma vez determinada a carga orgânica superficial, foi possível calcular, através da Equação 9, a área ocupada por cada lagoa de maturação a serem implementada. Os resultados dos cálculos efetuados apresentam-se na Tabela 37:

Tabela 37 - Cálculo da área de cada lagoa de maturação

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
CBO <sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)	91,5	81,7
Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /d)	16,0	16,7
Carga orgânica superficial (Kg/ha.d)	253,1	253,1
Área lagoa maturação (m <sup>2</sup> )	<b>58</b>	<b>54</b>

#### 5.6.1.3. PROFUNDIDADE

Os valores relativos à profundidade das lagoas de maturação fixam-se em volta de 1 m, podendo variar entre os 0,8 e os 1,2 m. É fundamental manter uma profundidade relativamente reduzida, uma vez que a penetração da radiação solar através da superfície da lagoa deve ser fomentada para aumentar a eficiência dos processos de remoção de bactérias e vírus patogênicos. Como tal, foi adotado o valor de **1 m relativo à profundidade das lagoas de maturação** a implementar.



#### 5.6.1.4. CAUDAL DE SAÍDA

De forma idêntica ao funcionamento das lagoas facultativas, admite-se que o caudal de entrada e saída são iguais, ou seja, depois da água residual proveniente da etapa facultativa dar entrada nas lagoas de maturação, decorrido o tempo de retenção hidráulico, segue com o mesmo caudal para os filtros rochosos. Contrariamente ao enunciado no capítulo anterior, despreza-se, aqui, a redução no caudal de saída devido ao efeito da evapotranspiração, uma vez que a área calculada para estas unidades é reduzida. Admite-se então:

$$\text{caudal entrada lagoa maturação} \left( \frac{m^3}{d} \right) = \text{caudal saída lagoa maturação} \left( \frac{m^3}{d} \right)$$

#### 5.6.1.5. TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICO

Dado o cálculo prévio da carga orgânica superficial e do caudal de saída, e mediante o valor de profundidade adotado para estas unidades, foi possível calcular o tempo de retenção hidráulico ( $\theta$ ) de uma das lagoas de maturação, através da Equação 11, adaptada aqui para lagoas de maturação (Eq. 24):

$$\theta_m = \frac{2 \cdot Am \cdot Hm}{2 \cdot Q_e} \quad (\text{Eq.24})$$

em que

$\theta_m$  = tempo de retenção hidráulico da lagoa de maturação (d)

$Am$  = área da lagoa de maturação ( $m^2$ )

$Hm$  = profundidade da lagoa de maturação (m)

$Q_e$  = caudal de entrada na lagoa de maturação ( $m^3/d$ )

Os valores calculados relativos ao tempo de retenção hidráulico para cada lagoa de maturação a implementar apresentam-se na Tabela 38:

*Tabela 38 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa de maturação*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área lagoa maturação (m <sup>2</sup> )	58	54
Profundidade lagoa maturação (m)	1,0	1,0
Caudal entrada lagoa maturação (m <sup>3</sup> /d)	16,0	16,7
Tempo de retenção hidráulico (d)	≈ 4	≈ 3

#### 5.6.1.6. REMOÇÃO DE CBO<sub>5</sub>

A remoção de CBO<sub>5</sub> em lagoas de maturação dá-se de forma muito mais lenta do que em lagoas facultativas. Apesar desta etapa não ter como principal objetivo a remoção de CBO<sub>5</sub> mas sim a de microrganismos patogénicos, o processo de dimensionamento foi feito considerando o este parâmetro, pelo que se procedeu também ao cálculo da sua remoção nestas unidades.

Para tal, voltou-se a recorrer à Equação 12, sendo que desta vez se admite um valor de  $k_1 = 0,05 \text{ d}^{-1}$ , uma vez que existe uma variação reduzida da remoção de CBO<sub>5</sub> em lagoas de maturação com a temperatura. Procedeu-se também ao cálculo da eficiência desta etapa de tratamento na remoção de CBO<sub>5</sub>, considerando-se novamente a Equação 14.

Os resultados relativos ao cálculo da concentração de CBO<sub>5</sub> do efluente de saída das lagoas de maturação e respetiva percentagem de remoção apresentam-se na Tabela39:

*Tabela 39 - Cálculo do valor de CBO<sub>5</sub> do efluente de saída das lagoas de maturação*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
CBO <sub>5</sub> do efluente de entrada (mg/L)	91,5	81,7
Tempo de retenção hidráulico (d)	4	3
$K_1 \text{ (d}^{-1}\text{)}$	0,05	0,05
CBO <sub>5</sub> do efluente de saída (mg/L)	77,5	70,4
% remoção CBO <sub>5</sub> (%)	15,3	13,9

### 5.6.1.7. GEOMETRIA

Determinadas os vários parâmetros que compõem o processo de dimensionamento das lagoas de maturação, procedeu-se à definição da sua geometria.

De igual modo a lagoas facultativas secundárias, as lagoas de maturação podem ter rácios comprimento/largura relativamente elevados. Este fator não tem importância extrema para este tipo de unidades, uma vez que, usualmente, não recebem cargas orgânicas elevadas, não correndo riscos de sobrecarga orgânica na secção de entrada. Como tal, este rácio pode ir até aos 10/1. Para a determinação da geometria das lagoas de maturação a implementar, admitiu-se um **rácio comprimento/largura de 4,7 para o cenário 1 e 4,4 para o cenário 2.**

Determinou-se a geometria das lagoas de maturação, dadas as considerações prévias, apresentando-se os resultados obtidos na Tabela 40:

*Tabela 40 - Geometria adotada para as lagoas de maturação*

Geometria Lagoas Maturação		
Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área (m)	58	54
[B] Largura (m)	3,5	3,5
[L] Comprimento (m)	16,6	15,4
Rácio L/B	<b>4,7</b>	<b>4,4</b>
Profundidade (m)	1,0	1,0

É também necessário, nesta etapa, corrigir as dimensões calculadas tendo em consideração a configuração real das lagoas de maturação, uma vez que as medidas determinadas previamente baseiam-se numa profundidade média. Como tal, admitiu-se um valor de **0,5 m para o bordo livre**, uma vez que são lagoas com dimensões relativamente reduzidas.

De igual forma ao já considerado para a geometria das lagoas facultativas, também nesta etapa foi admitido um valor para o **talude interno de 1:2,5**, uma vez que se situa na gama de valores comumente usados na construção de lagoas de estabilização.

Para efetuar o processo corretivo das dimensões previamente calculadas relativas à configuração adotada para as lagoas de maturação, relembra-se que estes parâmetros dependem diretamente da inclinação do talude interno e admitindo que a estrutura que delimita internamente a lagoa tem um talude de 1/n (vertical/horizontal), as dimensões corrigidas podem ser calculadas através das Equações 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22.

Apresentam-se na Tabela 41 as dimensões corrigidas relativas à configuração de uma das lagoas de maturação, mediante os dois cenários de tratamento considerados:

*Tabela 41 - Configuração corrigida das lagoas de maturação*

Geometria Lagoas de Maturação		
Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área a meia profundidade (m <sup>2</sup> )	58	54
[L] Comprimento a meia profundidade (m)	16,6	15,4
[B] Largura a meia profundidade (m)	3,5	3,5
Rácio L/B	4,7	4,4
Bordo livre (m)	0,5	0,5
Profundidade líquida (m)	1,0	1,0
Talude interno (vertical/horizontal) 1:2,5	2,5	2,5
[L] fundo da lagoa (m)	14,1	12,9
[L] nível da água (m)	19,1	17,9
[L] topo do talude (m)	21,6	20,4
[B] fundo da lagoa (m)	1,0	1,0
[B] nível da água (m)	6,0	6,0
[B] topo do talude (m)	8,5	8,5

No Anexo B apresentam-se as dimensões corrigidas relativas às lagoas de maturação, mediante a esquematização presente na Figura 57.

Procedeu-se ainda ao cálculo das áreas superficiais das lagoas de maturação com base nas dimensões corrigidas, recorrendo à Equação 22. Os resultados dos cálculos efetuados são apresentados na Tabela 42:

*Tabela 42 - Cálculo das áreas superficiais das lagoas facultativas*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
[L] topo do talude (m)	21,6	20,4
[B] topo do talude (m)	8,5	8,5
Área superficial (m <sup>2</sup> )	<b>183,6</b>	<b>173,4</b>

#### 5.6.1.8. VOLUME ÚTIL E VOLUME TOTAL

Através da Equação 23, presente do capítulo 4.5.8, foi possível proceder, de igual forma, ao cálculo dos volumes úteis e totais de cada lagoa de maturação. Os resultados dos cálculos efetuados apresentam-se na Tabela 43:

*Tabela 43 - Cálculo do volume útil e total para cada lagoa de maturação*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Talude interno (vertical/horizontal) 1:2,5	2,5	2,5
Profundidade líquida (m)	1,0	1,0
Profundidade topo talude (m)	1,5	1,5
[L] fundo da lagoa (m)	14,1	12,9
[B] fundo da lagoa (m)	1,0	1,0
Volume útil (m <sup>3</sup> )	<b>≈ 60</b>	<b>≈ 56</b>
Volume total (m <sup>3</sup> )	<b>≈ 134</b>	<b>≈ 126</b>

#### 5.6.1.9. SÍNTESE DE DIMENSIONAMENTO – LAGOAS DE MATURAÇÃO

Calculadas as dimensões relativas às lagoas de maturação e respetiva configuração corrigida, procede-se agora à síntese do panorama conjunto destas unidades, uma vez que o processo prévio de dimensionamento e configuração apenas se focou numa das duas lagoas de maturação que se propõem serem implementadas. Como tal, apresenta-se na Tabela 44 uma perspetiva resumida deste estágio de tratamento:

*Tabela 44 - Panorama conjunto das duas lagoas de maturação*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área a meia profundidade (m <sup>2</sup> )	116	108
Área superficial (m <sup>2</sup> )	367,2	346,8
Volume útil (m <sup>3</sup> )	120,2	111,8
Volume total (m <sup>3</sup> )	267,8	251,0
Tempo de retenção hidráulico (d)	4	3
Caudal saída total (m <sup>3</sup> /d)	32	33
CBO <sub>5</sub> efluente saída* (mg/L)	77,5	70,4
% remoção CBO <sub>5</sub> (%)	15,3	13,9

### 5.6.2. 2º ESTÁGIO - FILTROS ROCHOSOS

A jusante das lagoas de maturação propôs-se implementar dois filtros rochosos, também instalados em paralelo, com as mesmas dimensões. Estas recebem o efluente proveniente do primeiro estágio de polimento, tendo como principal função a filtração das algas presentes na água residual.

Seguiu-se o mesmo raciocínio adotado no dimensionamento das unidades de tratamento da etapa anterior, focando o processo de dimensionamento em apenas um dos dois filtros rochosos.

Em primeiro lugar, definiram-se os parâmetros de entrada para este processo de dimensionamento, em sintonia os parâmetros de saída das lagoas de maturação. Os valores referentes a estes parâmetros apresentam-se na Tabela 45:

*Tabela 45 - Parâmetros de entrada relativos à etapa de polimento*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário
CBO <sub>5</sub> efluente de entrada (mg/L)	77,5	70,4
Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /d)	16,0	16,5

É importante referir que a água residual que dá entrada nos filtros rochosos proveniente das lagoas facultativas deve ser alimentada abaixo do substrato filtrante, de modo a evitar a proliferação de maus odores. Como tal, é promovido um fluxo subsuperficial horizontal na unidade.

A dimensão das rochas utilizadas no substrato rochoso, normalmente brita, varia entre 50 e 200 mm. Valores inferiores a 50 mm podem causar o entupimento da unidade de tratamento, enquanto que valores acima dos 200 mm reduzem a área superficial de exposição [54].

### 5.6.2.1. CARGA HIDRÁULICA

Os filtros rochosos são dimensionados com base na carga hidráulica (CH), expresso em m<sup>3</sup> de volume efluente de lagunagem por m<sup>3</sup> de volume bruto do filtro rochoso por dia, ignorando o espaço ocupado pelas rochas do substrato filtrante. Desta forma, as suas unidades representam-se por dia<sup>-1</sup>. Isto é (Eq.25) [46]:

$$Carga\ Hidráulica\ (d^{-1}) = \frac{Volume\ efluente\ lagunagem\ (m^3)}{Volume\ bruto\ filtro\ rochoso\ (m^3) \times dia\ (d)} \quad (Eq.25)$$

A gama de valores adotada para este parâmetro varia usualmente entre os 0,6 e 1 d<sup>-1</sup>, com o valor de 1 d<sup>-1</sup> a ser habitualmente adotado em climas mais quentes. Como tal, admitiu-se um valor de **0,8 d<sup>-1</sup> para o parâmetro carga hidráulica** dos filtros rochosos a implementar, uma vez que nos meses mais quentes se fazem sentir temperaturas altas na área de estudo, mantendo o valor um pouco abaixo do máximo admissível por uma questão de segurança.

### 5.6.2.2. PROFUNDIDADE

A profundidade habitualmente verificada nestas unidades varia entre 1 m e 1,5 m, embora para efeitos de dimensionamento o parâmetro utilizado seja a profundidade a que a água residual se encontra, que varia, normalmente, entre 0,5 a 1 m. Para efeitos de dimensionamento, adotou-se o valor de **0,8 m relativo à altura da água residual** na bacia de tratamento. Admite-se uma profundidade total (até à superfície do filtro rochoso) de 1,3 m.

### 5.6.2.3. ÁREA E VOLUME

Admitidos os parâmetros relativos à profundidade e carga hidráulica dos filtros rochosos, tendo ainda em consideração o caudal de entrada nestas unidades, foi possível proceder ao cálculo da área necessária para a sua implementação, através da Equação 26 [27]:

$$Área\ Filtro\ Rochoso\ (m^2) = \frac{Qe\ (m^3/d)}{CH\ (d^{-1}) \times H_{RF}(m)} \quad (Eq.26)$$

com

$Qe$  = caudal de entrada no filtro rochoso (m<sup>3</sup>/d)

$CH$  = carga hidráulica (d<sup>-1</sup>)

$H_{RF}$  = altura da água residual no FR (m)



Dada a Equação 26, foi possível calcular a área necessária para a implementação de cada FR. Uma vez obtidos estes valores, foi possível calcular o volume útil e o volume total de cada FR, multiplicando a área obtida pela altura da água e pela altura total da unidade, respetivamente. Os resultados dos cálculos supramencionados apresentam-se na Tabela 46:

*Tabela 46 - Cálculo da área e volume de cada filtro rochoso*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário
Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /d)	16,0	16,5
Carga Hidráulica (d <sup>-1</sup> )	0,8	0,8
Profundidade líquida (m)	0,8	0,8
Profundidade total (m)	1,3	1,3
Área filtro rochoso (m <sup>2</sup> )	<b>25,0</b>	<b>25,7</b>
Volume útil (m <sup>3</sup> )	<b>20,0</b>	<b>20,6</b>
Volume total (m <sup>3</sup> )	<b>32,5</b>	<b>33,4</b>

#### 5.6.2.4. CAUDAL DE SAÍDA

De modo a definir o caudal de saída de cada um dos filtros rochosos e, por consequência, o caudal de descarga do sistema de tratamento, considera-se que o caudal de entrada nestas unidades é igual ao de saída, uma vez que a área calculada para estas unidades é reduzida e não se prevê tempos de retenção hidráulicos elevados, isto, é pode desprezar-se o efeito da evapotranspiração. Como tal:

$$\text{caudal de entrada filtro rochoso} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = \text{caudal de descarga filtro rochoso} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$$

#### 5.6.2.5. TEMPO DE RETENÇÃO HIDRÁULICO

Para o cálculo do tempo de retenção hidráulico deste tipo de unidades é necessário, em primeiro lugar, admitir um valor relativo à porosidade do meio filtrante rochoso. O valor da porosidade normalmente associado ao meio rochoso utilizado nestas unidades fixa-se nos 0,4. Como tal, adotou-se o valor de **0,4 relativo à porosidade do meio filtrante rochoso**.

Foi então possível calcular o tempo de retenção hidráulico para os filtros rochosos através da equação 27 [46]:

$$\theta(d) = \frac{\varepsilon V_{FR}(m^3)}{Q_s \left(\frac{m^3}{d}\right)} \quad (\text{Eq.27})$$

com

$\theta$  = tempo de retenção hidráulico (d)

$\varepsilon$  = porosidade do meio filtrante rochoso

$V_{FR}$  = volume útil do filtro rochoso ( $m^3$ )

$Q_s$  = caudal de saída do filtro rochoso ( $m^3/d$ )

Procedeu-se, então, ao cálculo do tempo de retenção hidráulico relativo a cada FR com base na Equação 27, apresentando-se os resultados na Tabela 47:

*Tabela 47 - Cálculo do tempo de retenção hidráulico dos filtros rochosos*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Volume útil filtro rochoso ( $m^3$ )	20,0	20,6
Porosidade do meio filtrante rochoso	0,4	0,4
Caudal de saída do filtro rochoso ( $m^3/d$ )	16,0	16,5
Tempo de retenção hidráulico (d)	0,5	0,5

#### 5.6.2.6. REMOÇÃO DE CBO<sub>5</sub>

A redução de CBO<sub>5</sub> em filtros rochosos acontece maioritariamente através da filtração da fração orgânica relativa às algas presentes no efluente. Apesar de não ser considerada uma equação que ilustre a eficiência destas unidades na remoção deste parâmetro, alguns estudos realizados mostram que para temperaturas próximas de 25°C, filtros rochosos que recebem efluente de lagoas de maturação primárias com um valor de carga hidráulica de 1 d<sup>-1</sup> conseguem atingir percentagens de remoção de CBO<sub>5</sub> na ordem dos 46% [46].

Dada a temperatura considerada neste processo de dimensionamento (20°C) e tendo em consideração o valor de carga hidráulica já admitido previamente neste capítulo, arbitrou-se uma **percentagem de remoção de CBO<sub>5</sub> relativa aos filtros rochosos de 35%**.

Dada a consideração prévia, foi então possível calcular o valor de CBO<sub>5</sub> previsto, relativamente ao efluente de saída dos filtros rochosos, apresentando-se os resultados na Tabela 48:

*Tabela 48 - Cálculo da CBO<sub>5</sub> do efluente de saída dos filtros rochosos*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário
CBO <sub>5</sub> efluente entrada (mg/L)	77,5	70,4
% remoção de CBO <sub>5</sub>	35	35
CBO <sub>5</sub> efluente saída (mg/L)	50,4	45,7

#### 5.6.2.7. GEOMETRIA

Procedeu-se também à determinação da geometria relativa aos filtros rochosos a implementar nesta etapa de polimento, uma vez determinada a área requerida. De igual forma a todo o processo prévio, determinou-se a geometria de apenas um dos filtros rochosos já dimensionados, uma vez que são idênticos.

Apesar de não existir, atualmente, uma quantidade considerável de estudos relativos à geometria mais adequada para estas unidades, nomeadamente ao nível do rácio comprimento/largura, admite-se que este seja na mesma ordem das lagoas de maturação, uma vez que servem propósitos idênticos. Para além disso, os filtros rochosos são unidades equivalentes a leitos de macrófitas que apresentam, normalmente, aspeto alongado nas suas bacias de tratamento.

Admitiu-se, então, um **rácio comprimento/largura de 4,0 para o cenário 1 e 4,1 para o cenário 2**.

Dadas as considerações feitas, apresentam-se os resultados relativos às medidas calculadas para a geometria destas unidades na Tabela 49:

*Tabela 49 - Geometria adotada relativa aos filtros rochosos*

Geometria Filtros Rochosos		
Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área (m)	25,0	25,7
[B] Largura (m)	2,5	2,5
[L] Comprimento (m)	10,0	10,3
Rácio L/B	4,0	4,1
Volume (m³)	20,0	20,6
Profundidade líquida (m)	0,8	0,8

Os filtros rochosos podem ser integrados dentro de lagoas de maturação, embora seja mais benéfico serem implementados separadamente, por razões de manutenção. Admite-se, aqui, a implementação dos filtros rochosos de forma independente das lagoas de maturação localizadas a montante.

Estas unidades apresentam-se, habitualmente, num formato retangular, tanto a nível superficial, como na sua base, isto é, num formato paralelepípedo. Apresentam, portanto, um formato distinto das lagoas de estabilização, embora, pontualmente, possam também integrar pequenos taludes nas suas extremidades.

Neste caso de estudo não foi considerada a integração de taludes nos filtros rochosos e, como tal, não foram feitas considerações adicionais relativamente à geometria dos filtros rochosos a implementar.

#### 5.6.2.8. SÍNTESE DE DIMENSIONAMENTO – FILTROS ROCHOSOS

De modo a elaborar uma perspetiva geral das dimensões ocupadas por ambos os filtros rochosos, apresenta-se na Tabela 50 o panorama conjunto relativo a estas duas unidades:

*Tabela 50 - Panorama conjunto dos dois filtros rochosos*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área total (m <sup>3</sup> )	50,0	51,4
Volume útil (m <sup>3</sup> )	40,0	41,2
Volume total (m <sup>3</sup> )	65,0	66,8
Tempo de retenção hidráulico (d)	0,5	0,5
Caudal saída total (m <sup>3</sup> /d)	32	33
CBO5 efluente saída* (mg/L)	50,4	45,7
% remoção CBO <sub>5</sub> (%)	35	35

## 5.7. SÍNTESE DO PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO

Efetuada o processo de dimensionamento e obtidas as várias medidas e dimensões relativas às unidades de tratamento que compõem o sistema de tratamento natural de águas residuais proposto, procedeu-se à análise sintetizada do panorama geral deste sistema. Como tal, de modo a ser permitida uma perceção geral da magnitude do sistema de tratamento proposto, apresenta-se na Tabela 51 a síntese de todo o processo de dimensionamento:

*Tabela 51 - Síntese do processo de dimensionamento do sistema de tratamento natural proposto*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
CBO <sub>5</sub> efluente entrada (mg/L)	1354	750
CBO <sub>5</sub> efluente saída (mg/L)	50,4	45,7
% remoção de CBO <sub>5</sub>	96,3	93,9
Tempo de retenção hidráulico total (d)	61	38
Área superficial total (m <sup>2</sup> )	4318	3769

A eficiência da remoção de CBO<sub>5</sub> calculada na Tabela 54 é referente a todo o processo de tratamento, tendo em consideração o valor de CBO<sub>5</sub> do efluente que entra na primeira unidade de tratamento (tanque anaeróbio) e o valor de CBO<sub>5</sub> do efluente que é descarregado das últimas unidades de tratamento (filtros rochosos).

## 6. CONSTRUÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO

Finalizado o processo de dimensionamento das várias unidades que compõem o sistema de tratamento natural de águas residuais por lagunagem e a definição da configuração-base relativamente à sua geometria, existem ainda alguns aspetos complementares entendidos como relevantes para este trabalho.

### 6.1. IMPERMEABILIZAÇÃO

Lagoas de estabilização de águas residuais devem ser impermeabilizadas caso o solo do local onde se pretende implementá-las seja demasiado permeável, de maneira a evitar a contaminação das águas subterrâneas. A permeabilidade do solo e a possível interferência com as águas subterrâneas deve ser averiguada através de perfurações realizadas antes da seleção do local onde se pretende implementar o sistema de lagunagem [54].

As perfurações *in situ* permitem aferir o coeficiente de permeabilidade do solo,  $k$ , e a necessidade de ser implementada impermeabilização nas lagoas de estabilização pode ser avaliada através das seguintes considerações [46]:

- $K > 10^{-6}$  m/s: o solo é demasiado permeável e as lagoas devem conter impermeabilização;
- $K < 10^{-7}$  m/s: pode ocorrer alguma infiltração, mas não em escala suficiente para impedir que as lagoas encham;
- $K < 10^{-8}$  m/s: as lagoas irão selar naturalmente;
- $K < 10^{-9}$  m/s: não existe risco de contaminação das águas subterrâneas, embora seja necessária uma avaliação hidrogeológica detalhada caso estas águas sejam utilizadas para o abastecimento de água potável.

Uma vez que não foram incluídas análises relativas à permeabilidade do solo nas análises laboratoriais realizadas às amostras de solo retiradas da Boomland, admitiu-se, como fator de segurança, que as lagoas de estabilização propostas a serem implementadas na área de estudo **necessitam de ser impermeabilizadas na sua base e respetivos taludes**.

Os materiais mais utilizados na impermeabilização de lagoas de estabilização são as telas de geomembranas plásticas, geotêxteis ou revestimentos de argila geossintéticos, sendo as primeiras as mais habitualmente verificadas. A disponibilidade local e a flexibilidade orçamental definem, normalmente, os materiais a serem implementados, sendo que as telas de membrana são soldadas termicamente, processo relativamente complexo e dispendioso [46, 48].

Já definidas e dimensionadas as unidades que compõem o sistema de tratamento propostos, relembra-se que, uma vez que se admite a construção do tanque anaeróbio em betão, isto é, sem o formato convencional das lagoas de estabilização, são 6 as unidades sujeitas a impermeabilização:

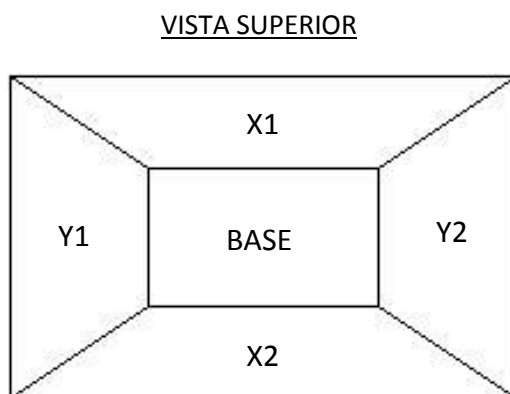
- 2 Lagoas Facultativas (base e taludes);
- 2 Lagoas de Maturação (base e taludes);
- 2 Filtros Rochosos (apenas a base)

Identificadas as unidades que necessitam de incorporar impermeabilização, foi necessário proceder ao cálculo das áreas dessas mesmas unidades que devem ser abrangidas pelas telas impermeabilizantes.

### 6.1.1. LAGOAS FACULTATIVAS

Em primeiro lugar, o cálculo das áreas sujeitas a impermeabilização assenta no processo de correção das dimensões calculadas para as várias lagoas de estabilização propostas, uma vez que a impermeabilização deve cobrir não só toda a área sujeita a inundação, mas também a respetiva até ao topo dos taludes.

Como tal, representaram-se alguns cortes relativos à configuração das lagoas de estabilização que facilitaram os processos de cálculo necessários relativamente às áreas sujeitas a impermeabilização. Na Figura 58, relativa à vista superior de uma lagoa de estabilização, é possível identificar as diferentes áreas que devem ser impermeabilizadas:



*Figura 58 - Vista superior de uma lagoa de estabilização*

Identificaram-se as áreas idênticas X1 e X2, assim como Y1 e Y2, como também a área relativa à base da lagoa. Verifica-se que as áreas  $X1 = X2$ , bem como  $Y1 = Y2$  têm a forma trapezoidal, enquanto que a área da base é retangular.



Para o cálculo das áreas enunciadas foram usadas as medidas corrigidas, obtidas no processo de dimensionamento das lagoas, embora tenha sido necessário calcular a medida relativa à extensão diagonal dos taludes, correspondente à altura dos trapézios  $X1 = X2$  e  $Y1 = Y2$ , assinalada a vermelho na Figura 59:

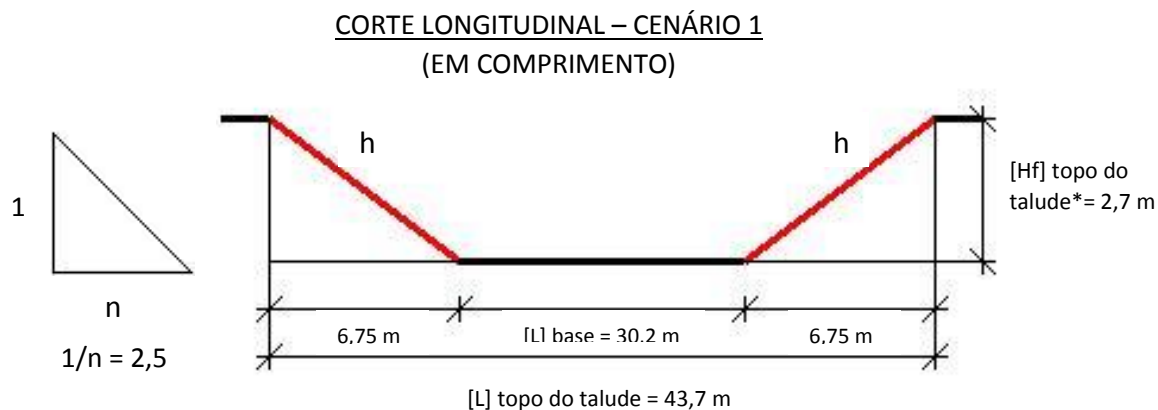


Figura 59 - Esquematização utilizada no cálculo da extensão diagonal dos taludes das lagoas facultativas do cenário 1

NOTA: A medida “[Hf] topo do talude” foi obtida pela soma da profundidade adotada para as lagoas facultativas com o valor do bordo livre adotado

Denominando os segmentos assinalados por  $h$ , através do Teorema de Pitágoras foi possível calculá-los, como se pode observar pela seguinte equação:

$$h^2 = \sqrt{6,75^2 + 2,70^2} \approx 7,3 \text{ m}$$

O cálculo efetuado acima, bem como a esquematização presente na Figura 60 são referentes ao corte longitudinal de uma das lagoas de estabilização do cenário 1. No entanto, o valor de  $h$  obtido é válido também para o corte transversal (em largura) uma vez que o valor de  $1/n$  adotado é o mesmo para os taludes dessas secções.

Dado o cálculo do valor de  $h$ , foi então possível o cálculo das áreas trapezoidais representadas na Figura 60, através da Equação 28:

$$\text{Área trapézio} = \left( \frac{B + b}{2} \right) \times h \quad (\text{Eq.28})$$

Exemplificando o cálculo da área  $X1 = X2$ :

$$\begin{aligned} \text{Área } X1 &= \left( \frac{[L] \text{ topo do talude} + [L] \text{ fundo da lagoa}}{2} \right) \times n \\ \Leftrightarrow \text{Área } X1 &= \left( \frac{43,7 + 30,2}{2} \right) \times 7,3 = \mathbf{269,5 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Repetiram-se os cálculos efetuados anteriormente para as **áreas  $Y1 = Y2$ , obtendo-se a área de 89,1 m<sup>2</sup>.**

Por fim, procedeu-se ao cálculo da área da base retangular (fundo) da lagoa, através da Equação 29:

$$\text{Área retângulo} = \text{comprimento} \times \text{largura} \quad (\text{Eq.29})$$

Substituindo:

$$\begin{aligned} \text{Área base lagoa (m}^2\text{)} &= [L] \text{ fundo da lagoa} \times [B] \text{ fundo da lagoa} \\ \Leftrightarrow \text{Área base lagoa (m}^2\text{)} &= 30,2 \times 5,0 = \mathbf{150,9 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

Através da soma das várias áreas calculadas previamente, foi possível obter a área total sujeita a impermeabilização de uma das lagoas facultativas, segundo o cenário de tratamento 1. Como tal:

$$\text{Área total impermeabilização(m}^2\text{)} = \text{Área base lagoa} + X1 + X2 + Y1 + Y2 = 899,9 \approx \mathbf{900 \text{ m}^2}$$

Procedeu-se, de seguida, ao mesmo processo de cálculo para as dimensões obtidas relativas às lagoas facultativas do cenário de tratamento 2, apresentando-se o resumo da área total das lagoas facultativas sujeita a impermeabilização, mediante os cenários considerados, na Tabela 52:

*Tabela 52 - Área total das lagoas facultativas sujeita a impermeabilização*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área $X1 = X2$ (m <sup>2</sup> )	269,5	198,4
Área $Y1 = Y2$ (m <sup>2</sup> )	85,8	67,5
Área base da lagoa (m <sup>2</sup> )	150,9	51,1
Área total impermeabilização 1 lagoa (m <sup>2</sup> )	≈ 862	≈ 583
Área total impermeabilização (m <sup>2</sup> )	≈ 1723	≈ 1166

### 6.1.2. LAGOAS DE MATURAÇÃO

Uma vez que o formato das lagoas de maturação é equivalente ao das lagoas facultativas, o processo de cálculo relativo às áreas sujeitas a impermeabilização foi o mesmo.

No entanto, apesar do valor adotado para o talude 1/n ser o mesmo, dado que foi adotada uma profundidade menor para as lagoas de maturação, foi necessário estimar um novo valor de  $h$  para o cálculo das áreas a impermeabilizar relativas aos taludes das lagoas.

Da mesma forma que se procedeu previamente, no caso das lagoas facultativas, apresenta-se na Figura 60 a esquematização necessária para o cálculo do valor de  $h$ , aplicado agora a uma das lagoas de maturação do cenário 1:

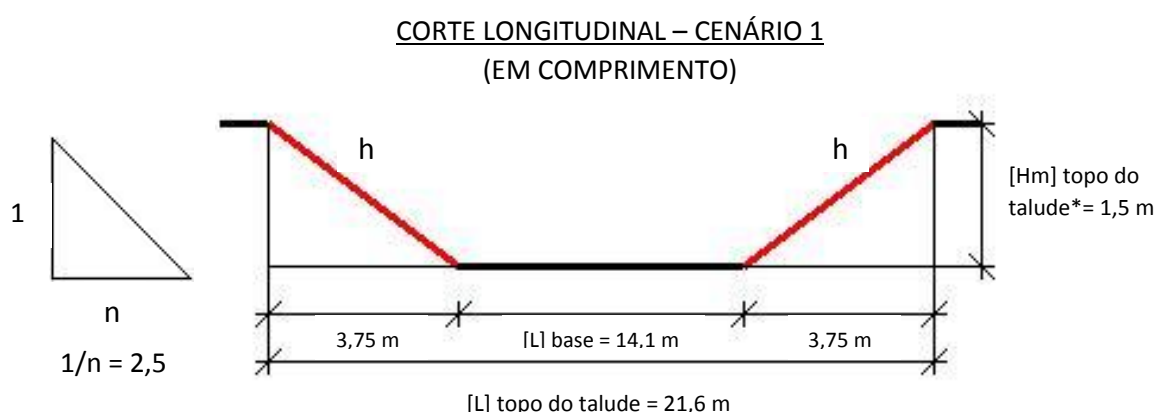


Figura 60 - Esquematização utilizada no cálculo da extensão diagonal dos taludes das lagoas de maturação do cenário 1

\*NOTA: A medida “[Hm] topo do talude” foi obtida pela soma da profundidade adotada para as lagoas de maturação com o valor do bordo livre adotado

Recorrendo novamente ao Teorema de Pitágoras:

$$h^2 = \sqrt{3,75^2 + 1,50^2} \approx 4,0 \text{ m}$$

Dado o cálculo da medida  $h$ , procedeu-se ao mesmo processo de cálculo efetuado para as lagoas facultativas, nomeadamente a determinação das várias áreas da lagoa que devem ser impermeabilizadas:  $X1 = X2$ ,  $Y1 = Y2$  e área da base da lagoa. Os resultados obtidos para ambos os cenários apresentam-se na Tabela 53:

Tabela 53 - Área total das lagoas de maturação sujeita a impermeabilização

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área $X1 = X2$ (m <sup>2</sup> )	71,3	66,5
Área $Y1 = Y2$ (m <sup>2</sup> )	19,0	19,0
Área base da lagoa (m <sup>2</sup> )	14,1	12,9
Área total impermeabilização 1 lagoa (m <sup>2</sup> )	≈ 195	≈ 184
Área total impermeabilização (m <sup>2</sup> )	≈ 390	≈ 368

### 6.1.3. FILTROS ROCHOSOS

Por fim, foi proposto também a impermeabilização dos filtros rochosos a serem instalados em paralelo. No entanto, contrariamente às lagoas facultativas e de maturação, apenas se admite a impermeabilização da base do filtro rochoso, uma vez que não foram admitidos taludes na sua configuração geométrica.

O processo de cálculo para a área dos filtros rochosos a impermeabilizar tornou-se mais simplificado, uma vez que se admite que a área calculada previamente para os filtros rochosos no processo de dimensionamento é igual à área que deve ser impermeabilizada.

Como tal, as áreas retangulares da base dos filtros rochosos sujeitas a impermeabilização podem ser consultadas na Tabela 54:

*Tabela 54 - Área total dos filtros rochosos sujeita a impermeabilização*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área total ocupada (m <sup>3</sup> )	50,0	51,4
Área total impermeabilização (m <sup>2</sup> )	≈ 50	≈ 51

## 6.2. ESTRUTURAS DE ENTRADA E SAÍDA DE CAUDAL

Existe uma enorme variedade de configurações relativas às estruturas de entrada e saída de caudal de lagoas de estabilização, embora estas sigam determinados princípios básicos, pelo que devem ser unidades simples e económicas [48].

As estruturas de entrada, isto é, as que descarregam o efluente numa lagoa, devem ser instaladas mediante algumas condições, entre as quais [48, 54]:

- Devem permitir uma recolha simples de amostras de água das lagoas;
- Devem ser localizadas abaixo do nível da água, de modo a minimizar curtos-circuitos hidráulicos, reduzir a quantidade de escória e libertação de maus odores;
- Devem garantir uma homogeneização ampla da água residual, de modo a evitar a ocorrência de curtos-circuitos hidráulicos e formação de zonas mortas;
- Devem evitar a erosão dos taludes e da base da lagoa, através da instalação uma placa de betão abaixo da tubagem de descarga de efluente.

No que diz respeito à quantidade de estruturas de entrada e saída de caudal a instalar em cada lagoa, existem abordagens distintas na literatura. Por um lado, é defendida a instalação de várias estruturas de entrada e saída ao longo da largura da lagoa, de modo a promover uma distribuição homogénea da água residual. Por outro lado, é também considerada a abordagem de que apenas uma estrutura de entrada e saída é suficiente, localizadas diagonalmente em extremos opostos da lagoa [54].

As estruturas de saída de caudal, devem também obedecer a algumas considerações na sua configuração, de modo a serem evitados problemas no funcionamento do sistema, entre as quais:

- Devem ser localizadas no extremo oposto da estrutura de entrada, mas não de forma alinhada, de modo a serem evitados curtos-circuitos hidráulicos;
- As estruturas de saída podem ser fixas ou variáveis, embora as últimas permitam mais flexibilidade;
- Devem ser instalados *baffles* que englobem parcialmente a secção molhada, de modo a evitar a saída de materiais flutuantes como algas, em lagoas facultativas ou de maturação, e escória em lagoas anaeróbias.

Quando o efluente de uma lagoa de estabilização segue para outra unidade a jusante, a interconexão entre as mesmas deve incluir uma caixa aberta de manutenção, de modo a permitir a recolha de amostras e a desobstrução das tubagens [54].

A estrutura de saída de caudal da última lagoa de tratamento num sistema de lagoas em série deve descarregar o efluente para um dispositivo medidor de caudal, uma vez que o caudal de entrada no sistema de tratamento é também medido. Deste modo, é possível aferir a taxa de evapotranspiração ou, na eventualidade das lagoas não serem impermeabilizadas, a taxa de infiltração [46].

### 6.3. PROPOSTA DE LOCALIZAÇÃO

Feito o dimensionamento das várias unidades que integram o sistema de tratamento por lagunagem proposto, nomeadamente o cálculo das suas áreas superficiais, foi possível proceder a um estudo de uma localização favorável à implementação do sistema, mediante os limites geográficos da Boomland.

A área total ocupada pelo sistema de tratamento dimensionado traduz-se na área superficial calculada previamente. No entanto, este valor é referente apenas às unidades de tratamento propriamente ditas, isto é, não engloba qualquer perímetro de segurança, acessos de manutenção ou distância entre as lagoas.

Admitiu-se, então, um incremento de 25% aplicado à área superficial total calculada para o sistema de tratamento dimensionado. Esta área incrementada representa a área de influência do sistema de tratamento projetado, acrescentando mais segurança à proposta de implementação.

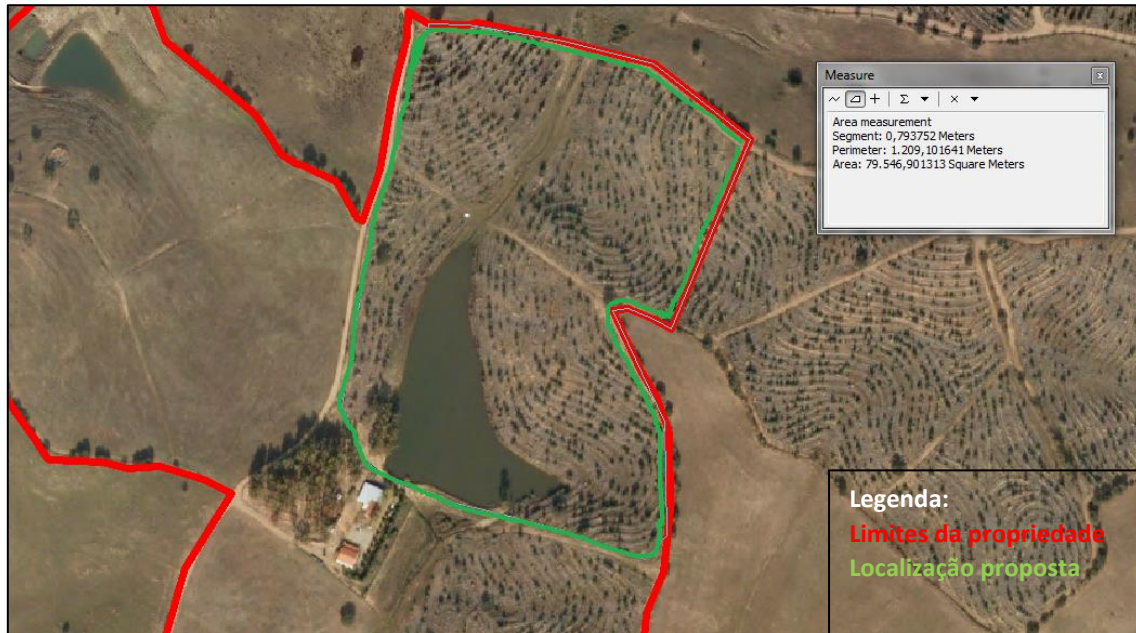
Os valores calculados relativos às áreas de influência do sistema de tratamento dimensionado apresentam-se na Tabela 55:

*Tabela 55 - Cálculo das áreas de influência do sistema de tratamento dimensionado*

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Área superficial total (m <sup>2</sup> )	4391	3769
Área de influência (m <sup>2</sup> )	≈ 5500	≈ 4700

Dadas as considerações feitas no capítulo 3.6.1.5, onde se admite que um dos destinos da água residual tratada passa pela descarga para as lagoas existentes na Boomland, foi elaborada uma proposta de localização para o sistema de tratamento por lagunagem dimensionado, atendendo, também, à área que este ocupa em relação à área disponível na Boomland. Atendendo também às apreciações elaboradas no capítulo 3.5.3 relativas à observação e estudo das lagoas existentes na área de estudo, entende-se que a localização mais favorável para a implementação do sistema de tratamento por lagunagem dimensionado é nas imediações destas, zona este da propriedade.

Recorrendo à ferramenta ArcGis, foi possível verificar que existe espaço suficiente para a sua implementação, permitindo, ainda, uma margem de segurança considerável para ajustes de configuração e localização, como se pode verificar pela Figura 61:



*Figura 61 - Proposta de localização do sistema de tratamento dimensionado*

A área delimitada a verde representa a localização proposta para a implementação do sistema de tratamento dimensionado, com cerca de 80000 m<sup>2</sup>.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



## 7. ESTIMATIVA DE CUSTOS

Obtidas as dimensões das várias unidades que compõem o sistema de tratamento por lagunagem proposto, procedeu-se a uma estimativa de custos associada a estas. Uma vez que as várias unidades de tratamento integram configurações e constituintes diferentes, realizou-se a análise de custos de forma independente, obtendo-se, no final, uma estimativa total dos gastos necessários. Ressalva-se que a estimativa de custos elaborada tem por base apenas os custos capitais associados à construção e implementação das várias unidades de tratamento, isto é, não são considerados custos operacionais ou de manutenção nem custos associados a tubagens e equipamentos complementares. Os valores utilizados na estimativa de custos foram sujeitos a algumas aproximações, tendo também em consideração as flutuações de mercado.

### 7.1. TRATAMENTO PRELIMINAR

Admitidas as unidades de tratamento preliminar que integram o sistema de tratamento por lagunagem proposto, foi realizada uma pesquisa orçamental relativa a estas tecnologias. A seleção das tecnologias de pré-tratamento deve ter em consideração o tipo de sistema de tratamento a implementar e as exigências operacionais que acarreta, de modo a apresentar uma resposta adequada aos parâmetros requeridos.

Contactadas várias empresas e fabricantes de tecnologias de tratamento preliminar, optou-se pela seleção da unidade compacta Huber Rotamat RO5ADV com capacidade de 20 L/s em aço inox 304L, comercializada em Portugal pela empresa Amprotec – Técnicas de Proteção do Ambiente, Lda. Esta unidade integra o processo de tamisação de 6 mm, como também a separação de areias e gorduras. Esta unidade tem o custo associado de **48.000 €** com quadro elétrico e compressor para arejamento. O folheto e desenho *standard* desta tecnologia encontra-se no Anexo C.

## 7.2. TANQUE ANAERÓBIO

Os custos capitais considerados, associados à implementação do tanque anaeróbio, têm por base os custos ligados aos seguintes processos:

1. Desmatção e decapagem do terreno;
2. Escavação;
3. Estrutura de betão (base + paredes do tanque).

Em primeiro lugar é considerada a decapagem e desmatção do terreno, até uma profundidade mínima de 25 cm, com meios mecânicos, remoção dos materiais escavados e carregamento em camião, sem incluir transporte a aterro autorizado [56]. Admitiu-se um custo associado a estes processos de cerca de 1,0 € por m<sup>2</sup>.

Relativamente ao processo de escavação, foi considerada a escavação a céu aberto em solo de argila semi-dura, com meios mecânicos, remoção dos materiais escavados e carregamento em camião [57]. Foi admitido um custo associado a este processo de cerca de 5,5 € por m<sup>3</sup> cúbico escavado.

Finalmente, considerou-se a implementação de uma estrutura de betão, composta pela base do tanque anaeróbio e as respetivas paredes laterais. Para aferir aos custos associados a esta estrutura, procedeu-se ao cálculo do volume de betão necessário para construir a mesma, desprezando qualquer outra componente da construção civil, como sapatas ou armações. Para tal, admitiu-se a implementação de uma estrutura de betão com 30 cm de espessura na base e 15 cm nas paredes laterais, tendo-se obtido um volume total de betão necessário de cerca de 735 m<sup>3</sup>. O cálculo deste volume é apresentado no Anexo C. Admitiu-se a utilização de betão 25/30 com classe de consistência S3 (100 a 150 mm), com um custo de cerca de 67 € por m<sup>3</sup> [58]

Feitas as considerações sobre cada processo com custos associados e tendo em consideração os cálculos efetuados relativamente às áreas superficiais e volumes totais, apresenta-se na Tabela 56 a estimativa de custos referente ao tanque anaeróbio:

*Tabela 56 - Estimativa de custos relativo ao tanque anaeróbio*

TANQUE ANAERÓBIO				
Processo	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Custo (€) por m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup>	Custo associado (€)
Desmatção e decapagem (m <sup>2</sup> )	2286	-	1,0	2286
Escavação (m <sup>3</sup> )	-	8733	5,5	48034
Estrutura de betão (m <sup>3</sup> )	-	736	67,0	49312
TOTAL (€)				99.632

A estimativa de custos apresentada na Tabela 58 é válida para ambos os cenários de tratamento considerados, uma vez que foram admitidas as mesmas dimensões para o tanque nos dois cenários.

### 7.3. LAGOAS FACULTATIVAS

Para a implementação das lagoas facultativas foram considerados os custos capitais associados aos seguintes processos:

- Desmatção e decapagem do terreno;
- Escavação;
- Impermeabilização (base + taludes da lagoa).

Os processos comuns à implementação do tanque anaeróbio, nomeadamente a desmatção e decapagem do terreno e o processo de escavação, foram já analisados, sendo considerados os mesmos custos por unidade de área ou volume supramencionados.

Os custos associados à impermeabilização da base e taludes das lagoas facultativas assentam no custo por m<sup>2</sup> de material impermeabilizante necessário, pelo que não foram considerados os custos dos processos de aplicação desta. Foi considerada a aplicação de uma membrana de PVC Imperplan F15, com espessura de 1,5 mm e armadura em poliéster, com um custo associado de cerca de 14,5 € por m<sup>2</sup> [59].

Com base nas dimensões calculadas previamente neste trabalho, foi possível proceder ao cálculo estimativo dos custos associados à implementação das duas lagoas facultativas.

Os custos calculados relativos às lagoas facultativas, mediante os cenários de tratamento considerados, apresentam-se na Tabela 57:

*Tabela 57 – Estimativa de custos relativa às lagoas facultativas*

LAGOAS FACULTATIVAS							
Processo	Área (m <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> )		Custo (€) por m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup>	Custo associado (€)	
	C1	C2	C1	C2		C1	C2
Desmatção e decapagem (m <sup>2</sup> )	1616	1086	-	-	1,0	1616	1086
Escavação (m <sup>3</sup> )	-	-	2425	1440	5,5	13336	7918
Impermeabilização (m <sup>2</sup> )	1723	1166	-	-	14,5	24984	16907
TOTAL (€)						39.936	25.911

**NOTA:** C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2

## 7.4. LAGOAS DE MATURAÇÃO

Uma vez que as lagoas de maturação seguem a mesma estrutura de configuração do que as lagoas facultativas, foram tidos em consideração os mesmos processos que têm influência na estimativa de custos da implementação das unidades de tratamento.

Os custos calculados relativos às lagoas de maturação, mediante os cenários de tratamento considerados, apresentam-se na Tabela 58:

*Tabela 58 - Estimativa de custos relativa às lagoas de maturação*

LAGOAS DE MATURAÇÃO							
Processo	Área (m <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> )		Custo (€) por m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup>	Custo associado (€)	
	C1	C2	C1	C2		C1	C2
Desmatização e decapagem (m <sup>2</sup> )	366	346	-	-	1,0	366	346
Escavação (m <sup>3</sup> )	-	-	267	251	5,5	1471	1381
Impermeabilização (m <sup>2</sup> )	390	368	-	-	14,5	5655	5336
TOTAL (€)						7.492	7.063

**NOTA:** C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2

## 7.5. FILTROS ROCHOSOS

Os custos capitais considerados na estimativa de investimento realizada para os filtros rochosos dimensionados envolvem os mesmos processos de implementação das lagoas, com o acréscimo do custo associado à quantidade de brita filtrante necessária. Foi considerada brita com diâmetros entre 80 e 150 mm, com um custo associado de 20€ por m<sup>3</sup> de substrato rochoso [60].

O substrato filtrante utilizado nos filtros rochosos deve ultrapassar o nível da água residual na bacia de tratamento em pelo menos 10 cm, de modo a evitar a propagação de mosquitos e maus odores [46]. Dada esta consideração, foi calculado o volume de brita filtrante necessário, multiplicando a área obtida dos filtros rochosos pela altura admitida da água residual mais os 10 cm que evitam as consequências supramencionadas. O cálculo do volume de brita necessário apresenta-se no Anexo C.

Os custos associados à implementação dos filtros rochosos, segundo os cenários de tratamento considerados, apresentam-se na Tabela 59:

*Tabela 59 - Estimativa de custos relativa aos filtros rochosos*

FILTROS ROCHOSOS							
Processo	Área (m <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> )		Custo (€) por m <sup>2</sup> ou m <sup>3</sup>	Custo associado (€)	
	C1	C2	C1	C2		C1	C2
Desmatagem e decapagem (m <sup>2</sup> )	50	51	-	-	1,0	50	51
Escavação (m <sup>3</sup> )	-	-	65	67	5,5	358	368
Impermeabilização (m <sup>2</sup> )	50	51	-	-	14,5	725	746
Brita filtrante (m <sup>3</sup> )	-	-	23	23	20,0	447	460
TOTAL (€)						1.593	1.623

**NOTA:** C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2

## 7.6. ESTIMATIVA TOTAL

Dada a análise estimativa de custos efetuada para cada etapa de tratamento, procedeu-se à estimativa total de custos relativa ao sistema de tratamento por lagunagem dimensionado, apresentada na Tabela 60:

*Tabela 60 - Estimativa de custos total do sistema de tratamento de águas residuais por lagunagem proposto*

ESTIMATIVA DE CUSTOS TOTAL		
Etapa de Tratamento	Custo (€)	
	Cenário 1	Cenário 2
Tratamento Preliminar	48000	48000
Tanque Anaeróbio	99632	99632
Lagoas Facultativas	39936	25911
Lagoas de Maturação	7492	7063
Filtros Rochosos	1593	1623
<b>TOTAL</b>	<b>196.652</b>	<b>182.231</b>

## 8. CONCLUSÃO

A Boomland, local onde são promovidos eventos culturais e artísticos como o Boom Festival, apresenta um panorama ambiental desafiante, na medida em que há uma variação extremamente acentuada na utilização do espaço e, por consequência, na produção de água residual. Dada a atual inexistência de um sistema de saneamento básico, tornou-se mais complexa a quantificação e caracterização da água residual produzida, acrescentado um grau de incerteza considerável ao caso de estudo.

A urgente necessidade de uma solução adequada e eficaz para o tratamento da água residual, levou à consideração dos processos de tratamento por lagunagem como apropriados às características e requisitos verificados. Com o objetivo de projetar um sistema neste âmbito, interligado com toda a caracterização física, biofísica e contextual realizada, foi definido um conjunto de condicionantes de apoio a tomadas de decisão relativas ao projeto.

Admitidos dois cenários de tratamento baseados no volume de água residual produzido nos 8 dias em que ocorre o Boom Festival e a respetiva carga orgânica ( $\text{CBO}_5$ ), foram dimensionadas as várias unidades de cada etapa de tratamento selecionada.

Relativamente ao cenário 1, foi estimada uma área necessária total de  $4318 \text{ m}^2$  para a implementação do sistema de tratamento proposto, alcançando uma eficiência na remoção de  $\text{CBO}_5$  na ordem dos 96,3%, decorridos 61 dias de tratamento. Foi efetuada uma estimativa de custos do sistema de tratamento dimensionado, perfazendo um total de 196.652€.

Para o cenário de tratamento 2, estimou-se uma área necessária total de  $3769 \text{ m}^2$ , com uma eficiência na remoção de  $\text{CBO}_5$  na ordem dos 93,9%, decorridos o total de 38 dias de tratamento. Para a implementação deste sistema de tratamento, estimou-se um custo associado de 182.231€.

Embora as eficiências na remoção de  $\text{CBO}_5$  sejam satisfatórias, os valores estimados para este parâmetro no caudal de saída do sistema foram de 50,4 e 45,7 mg/L, relativamente ao cenário 1 e 2, respetivamente. O valor limite de emissão de  $\text{CBO}_5$  na descarga de águas residuais fixa-se nos 40 mg/L, segundo o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto, podendo-se concluir que os valores estimados ultrapassam um pouco este limite. Contudo, dado o fator de segurança elevado aplicado no processo de dimensionamento e a utilização de condições menos favoráveis para parâmetros fulcrais nestes sistemas, nomeadamente a temperatura, estima-se que na realidade os valores calculados cumpram ou fiquem muito próximos de cumprir a legislação evidenciada.

Foi possível verificar que os sistemas de tratamento dimensionados para ambos os cenários são eficientes na remoção de carga orgânica, sendo que, o sistema do cenário 2 necessita de quase metade do tempo de tratamento para atingir valores semelhantes ao cenário, no parâmetro  $\text{CBO}_5$ . Apurou-se também que o sistema do cenário 2 ocupa cerca de menos  $550 \text{ m}^2$  de área do que o sistema do cenário 1 e, por consequência, requer um custo de investimento de cerca de menos 14400 € para a sua implementação. No entanto, o sistema projetado no cenário 1 integra o tratamento de toda a água residual produzida na Boomland, o que não se verifica no sistema do cenário 2, que apenas trata as águas residuais cinzentas.

Mediante os objetivos definidos, é possível concluir que os sistemas projetados se adequam ao caso de estudo, uma vez que apresentam um custo de investimento reduzido, em comparação

com os sistemas convencionais de tratamento de águas residuais, estimando-se uma remoção do parâmetro CBO<sub>5</sub> elevada. Além disso, admitindo-se que o escoamento da água residual nos sistemas acontece, maioritariamente, de forma gravítica, estima-se que os gastos energéticos sejam reduzidos, aliado ao facto dos custos de manutenção e operação destas unidades de tratamento serem, normalmente, baixos.

Apesar de não ter sido avaliada a remoção de outros parâmetros que caracterizam a contaminação de águas residuais, foram seleccionadas unidades de tratamento que promovem a sua remoção, admitindo-se que existem condições para tal acontecer com eficácia. Constatando os resultados obtidos relativos ao tempo de retenção hidráulico total do sistema, averigua-se que estes são elevados em comparação com sistemas de alta utilização como ETARs. No entanto, estes valores enquadram-se no panorama dos sistemas de tratamento por lagunagem, além de se admitir que o tempo de tratamento não é um fator limitante no caso de estudo, uma vez que se verifica uma utilização descontinuada da Boomland, fruto do panorama de eventos promovido.

Estas unidades de tratamento beneficiam das altas temperaturas verificadas nos meses mais quentes para tratar os caudais de água residual gerados e dada a sua robustez e flexibilidade, adequam-se ao panorama verificado na produção de caudais variáveis. Uma vez implementados e finalizada a sua construção, requerem procedimentos de arranque relativamente pouco demorados, indo de encontro à relativa urgência na implementação de um sistema de tratamento de águas residuais eficaz. A sua simplicidade de operação e manutenção, permite que o *staff* da Boomland se encarregue de maior parte dos procedimentos do seu funcionamento no dia a dia.

Entende-se que a localização mais favorável à implementação do sistema projetado seria a zona Este da propriedade, uma vez que esta área não é abrangida pelo POAI, ficando relativamente afastada da Albufeira de Idanha e do recinto da Boomland onde são promovidos os atuais eventos. Deste modo, é reduzido o risco de impactes sobre a Albufeira e sobre os participantes dos eventos promovidos, bem como se evitam incómodos relacionados com a eventualidade de odores, reforçando-se, ainda, a segurança.

.



## 9. TRABALHOS FUTUROS

Dada a complexidade e incerteza associada ao presente trabalho, foram vários os aspetos e particularidades que não foram possíveis de abordar neste âmbito.

O processo de dimensionamento associado às unidades que compõem as várias etapas do sistema de tratamento proposto é apenas relativo à sua estrutura básica e algumas componentes complementares. Posto isto, propõem-se estudar a aplicação de equipamentos tecnológicos adicionais que otimizem os processos de tratamento, como dispositivos de homogeneização, arejamento e *baffles*.

Propõem-se também estudar a aplicação de uma cobertura aplicada ao tanque anaeróbio, de modo a minimizar a propagação de eventuais odores e possibilitando também a recolha do biogás que é produzido. Sugere-se também que, na eventual aplicação de uma cobertura, seja avaliada a rentabilidade da recolha e utilização do biogás para produção de energia elétrica.

Um projeto no âmbito de lagoas de estabilização de águas residuais deve incluir um plano de segurança, como também um plano de manutenção e operação do sistema dimensionado, abordando aspetos de importância acrescida como a remoção e manuseamento das lamas produzidas e materiais inertes das unidades de tratamento.

Deve ser realizada uma caracterização pormenorizada do efluente nas várias etapas do sistema de tratamento através da recolha de amostras nas estruturas de entrada e saída de caudal de cada unidade. Mediante a qualidade do efluente final de todo o processo de tratamento, efetuar um estudo detalhado de modo a aferir a viabilidade da reutilização da água tratada no regadio.

De modo a ir de encontro ao ambiente temático dos eventos promovidos na Boomland, promover um estudo estético associado à configuração do sistema de tratamento de tratamento, de modo a facilitar a sua integração paisagística.

Dada a implementação dos FR como último estágio de tratamento, estudar a possibilidade de plantar estas unidades com vegetação macrófita, caso vá de encontro às necessidades de tratamento identificadas.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mood, G., *Boomland - Projeto ambiental, social, económico e cultural na beira baixa*. 2017.
2. *Boom Festival é “caso de estudo”, diz a ONU*, in *Jornal de Notícias*. 2010.
3. Jones, M., *Sustainable Event Management: A Practical Guide*. 2014.
4. Molina, A. and G. Guijarro, *Hygienic and sustainable cycling of human resources in BoomLand*. 2016, Universidad de Extremadura (UEX); UEX & ACTYVA, S. Coop.
5. EDRV - Território e Ambiente, L., *Programa de Orientações Estratégicas para a Herdade da Granja Masterplan*. 2015.
6. Rosário, R. and D. D'Ajuda, *Plano de Gestão Florestal*. 2016.
7. Idanha-a-Nova, C.M.d., *PDM Idanha-a-Nova*. 1994.
8. LDA, P.V., C.M. Idanha-a-Nova, and INAG, *Plano de Ordenamento da Albufeira de Idanha*. 2006.
9. Meteoblue. *Clima Alcafozes*. [cited 2017; Available from: [https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/modelclimate/alcafozes\\_portugal\\_272208](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/modelclimate/alcafozes_portugal_272208)].
10. Naturtejo. *Rota dos Granitos no Coração de Idanha - Geologia Urbana*.
11. Ambiente, I.d. *Atlas do Ambiente Digital*. 2011.
12. IST, *Classificação dos Solos*. 2006.
13. Jarbas, T., et al., *Luvisolos*. Agência Embrapa de Informação Tecnológica.
14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária ;Embrapa Solos; Ministério da Agricultura, P.e.A., *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2006.
15. Costa, J.C., et al., *Biogeografia de Portugal Continental*. 1998.
16. Penamacor, C.M. *Montado sobro e azinho*. [cited 2017; Available from: <http://www.cm-penamacor.pt/cmp/index.php/conhecer/economia/silvicultura>].
17. Naturtejo. *Naturtejo GEO.PARK*. [cited 2017; Available from: <http://www.naturtejo.com/>].
18. *Idanha-a-Nova: Grifos e trilobites*, in *Expresso*, ERTARPT, Editor. 2014, Boa Cama Boa Mesa.
19. Johnson, C., *The Show Must Go On - Environmental Impact Report and Vision for the UK Festival Industry* 2015.
20. Lavado, M., *Análise e perspectivas sobre os sistemas de águas residuais em Festivais de Música*. 2014, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
21. *World Water Assessment Programme*. 2009.
22. UN-HABITAT, *CONSTRUCTED WETLANDS MANUAL*. 2008.
23. ERSAR. [cited 2017; Available from: [www.ersar.pt](http://www.ersar.pt)].
24. Instituto Nacional de Estatística (INE). 2011.
25. Guedes, N., *Quase dois milhões de portugueses vivem sem saneamento*, in *TSF*. 2013.
26. Vymazal, J., *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. 2010.
27. Baz, I.A., R. Otterpohl, and C. Wendland, *Efficient Management of Wastewater - Its Treatment and Reuse in Water-Scarce Countries*, ed. Springer. 2008.
28. Kadlec, R. and S. Wallace, *TREATMENT WETLANDS*. Second edition ed. 2009.
29. EPA, *Constructed Treatment Wetlands*. 2004.
30. *Alberta Wetland Policy*. 2017 [cited 2017; Available from: <http://www.wetlandpolicy.ca/>].
31. Oliveira, Á., et al., *Tratamento de efluentes contendo compostos aromáticos por fito-reabilitação utilizado lagoas ("wetlands")*. 2016, FEUP.
32. EPA, *Constructed Treatment Wetlands*, E. 843-F-03-013, Editor. 2004.
33. Club, E., *Sustainable Sanitation Practice - Treatment Wetlands*. 2012.

34. Hoffmann, H., et al., *Technology review of constructed wetlands - Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment*. 2011, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ): Eschborn.
35. EPA, *Wastewater Technology Fact Sheet - Free Water Surface Wetlands*. 2000.
36. *Free Water Constructed Wetland at Knockholt Landfill*. 2007, Wetlands Pacific Corp.
37. Vymazal, J., *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands*. 1996.
38. Vymazal, J. and L. Kröpfelová, *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. 2001.
39. Brix, H., *Functions of macrophytes in constructed wetlands*. 1994.
40. *Horizontal subsurface flow constructed wetland planted with Phalaris in Czech Republic*. NaWaTech.
41. Vymazal, J. and L. Kröpfelová, *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. 2008.
42. Molle, P., et al., *How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems*, in *Water Science & Technology*. 2005.
43. *Waste Stabilisation Ponds*. [cited 2017; Available from: <https://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/w>].
44. NaWaTech, *Vertical flow constructed wetland planted with Scirpus in Pazo de Señorans in Galicia-Spain*. <http://www.nawatech.net>.
45. Official Web Site of Arcadia, W. *Wastewater Treatment Facility and Lagoon System*. 2010; Available from: <http://cityofarcadiawi.com/vertical/Sites/%7B755499FD-722A-4046-8441-4D26F8B9F61C%7D/uploads/WWTP.jpg>.
46. Mara, D., *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. 2003: Earthscan.
47. Spellman, F. and J. Drinan, *Wastewater Stabilization Ponds*. 2014: CRC Press.
48. Cheng, D., *SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS*. 2016, FEUP.
49. TILLEY, E., et al., *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2014, Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
50. *Processes in the Anaerobic Pond*. <http://www.thewatertreatments.com>.
51. *Before construction/existing : Oxidation Pond*. [cited 2017; Available from: [http://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product\\_site/water\\_environment/past\\_projects/asia\\_oceania/index.html](http://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product_site/water_environment/past_projects/asia_oceania/index.html)].
52. *Filter bed installation*. [cited 2017; Available from: <https://www.mactaylor.com/filterbedinstall/>].
53. AEA, *A água na cidade*. 2012, AEA.
54. Sperling, M.V., *Waste Stabilisation Ponds*. Vol. 3. 2007.
55. EPA, *Wastewater Technology Fact Sheet - Screening and Grit Removal*. 2003.
56. CYPE Ingenieros, S.A. *Gerador de Preços*. [cited 2018; Custo de desmatação]. Available from: [http://www.geradordeprecos.info/espacos\\_urbanos/Acondicionamento\\_do\\_terreno/Movimento\\_de\\_terras\\_em\\_obra\\_civil/Trabalhos\\_preliminares/Desmatacao\\_e\\_decapagem\\_do\\_terreno.html](http://www.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/Acondicionamento_do_terreno/Movimento_de_terras_em_obra_civil/Trabalhos_preliminares/Desmatacao_e_decapagem_do_terreno.html).
57. CYPE Ingenieros, S.A. *Gerador de Preços*. [cited 2018; Custo de escavação]. Available from: [http://www.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Acondicionamento\\_do\\_terreno/Movimento\\_de\\_terras\\_em\\_edificacao/Escavacoes/Escavacao\\_mecanica\\_a\\_ceu\\_aberto.html](http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Acondicionamento_do_terreno/Movimento_de_terras_em_edificacao/Escavacoes/Escavacao_mecanica_a_ceu_aberto.html).
58. Orçamentos. *Preços de betão pronto*. [cited 2018; Preços de betão pronto, deslocação da bomba e preço de m3 betonado]. Available from: <http://orcamentos.eu/precos-de-betao-pronto/>.
59. Imperialum, S., *Impermeabilizações Sintéticas Imperplan*. 2018.

60. CYPE Ingenieros, S.A. *Gerador de Preços*. [cited 2018; Preço brita filtrante]. Available from:  
[http://www.geradordeprecos.info/espacos\\_urbanos/Pavimentos\\_urbanos/Bases\\_e\\_sub-bases/Bases\\_e\\_sub-bases\\_granulares/Bases\\_e\\_sub-bases\\_granulares\\_1\\_0\\_7\\_0.html](http://www.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/Pavimentos_urbanos/Bases_e_sub-bases/Bases_e_sub-bases_granulares/Bases_e_sub-bases_granulares_1_0_7_0.html).

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ANEXOS

### ANEXO A – CONSUMOS DE ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO

#### ANO DE 2016

Consumos de água da rede de abastecimento no ano de 2016 - Boomland		
Nº Período	Período	Consumo (m³)
1	13/02/2016 a 22/03/2016	59
2	23/03/2016 a 21/04/2016	25
3	22/04/2016 a 18/05/2016	260
4	19/05/2016 a 22/06/2016	1089
5	23/06/2016 a 14/07/2016	1076
6	15/07/2016 a 29/08/2016	9760
7	30/08/2016 a 23/09/2016	945
8	24/09/2016 a 20/10/2016	1373
9	21/10/2016 a 18/11/2016	464
10	19/11/2016 a 18/12/2016	480
TOTAL		15572

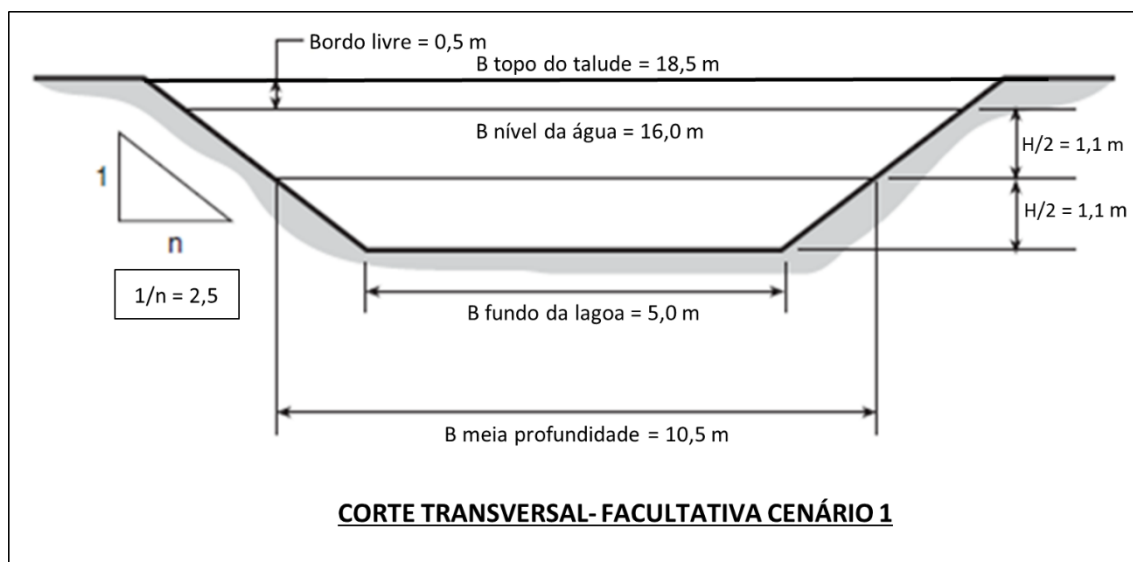
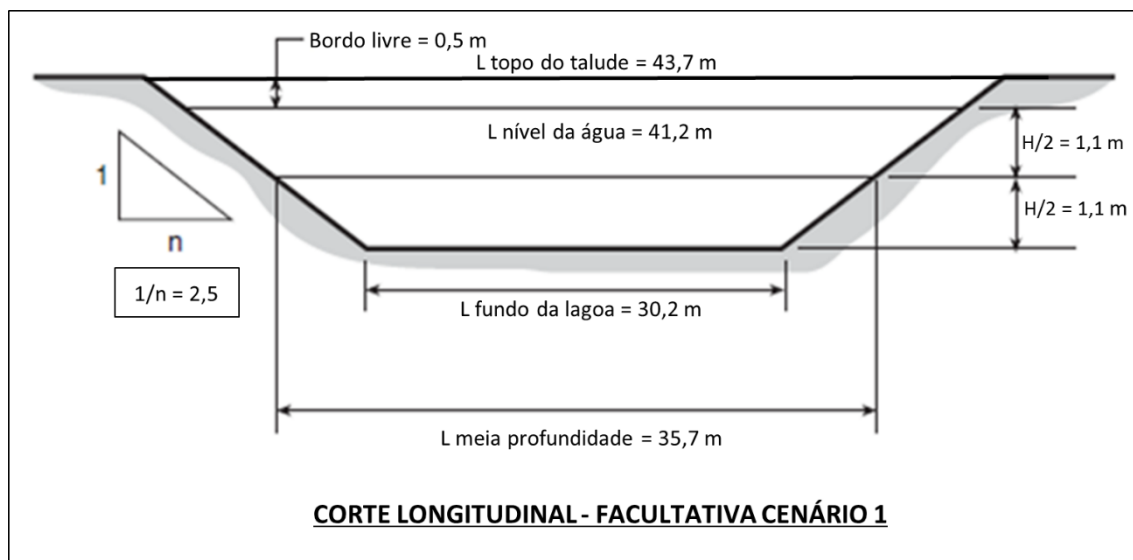
#### ANO DE 2017

Consumo de água da rede de abastecimento no ano de 2017 - Boomland		
Nº Período	Período	Consumo (m³)
1	21/01/2017 a 20/02/2017	842
2	21/02/2017 a 21/03/2017	673
3	22/03/2017 a 24/04/2017	856
4	25/04/2017 a 25/05/2017	1279
5	26/05/2017 a 23/06/2017	2119
6	24/06/2017 a 21/07/2017	2533
7	22/07/2017 a 21/08/2017	1661
8	22/08/2017 a 21/09/2017	1831
9	22/09/2017 a 23/10/2017	1593
10	24/10/2017 a 04/12/2017	637
TOTAL		13182

## ANEXO B – ESQUEMATIZAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DAS LAGOAS

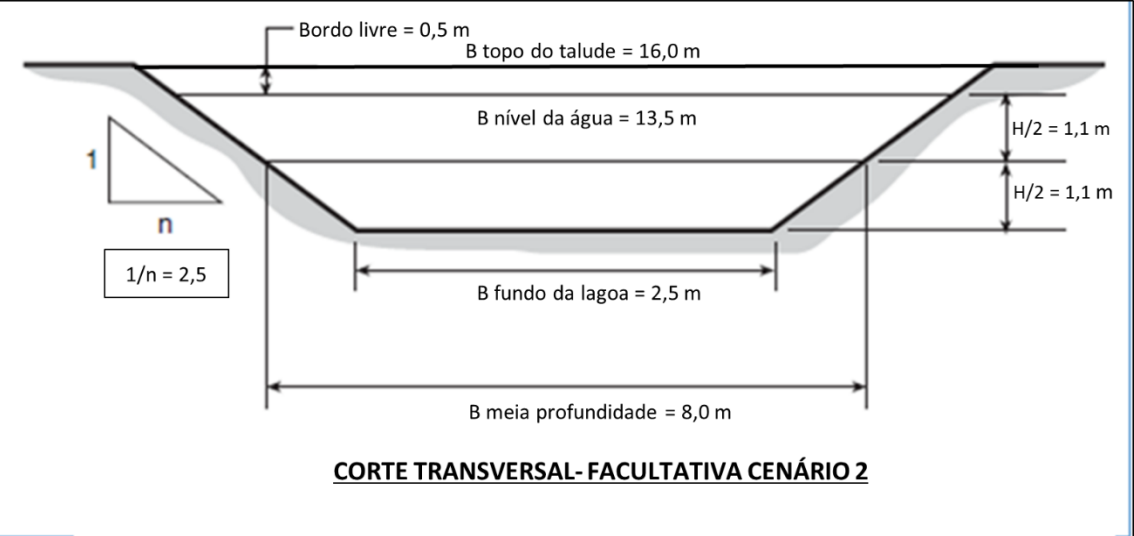
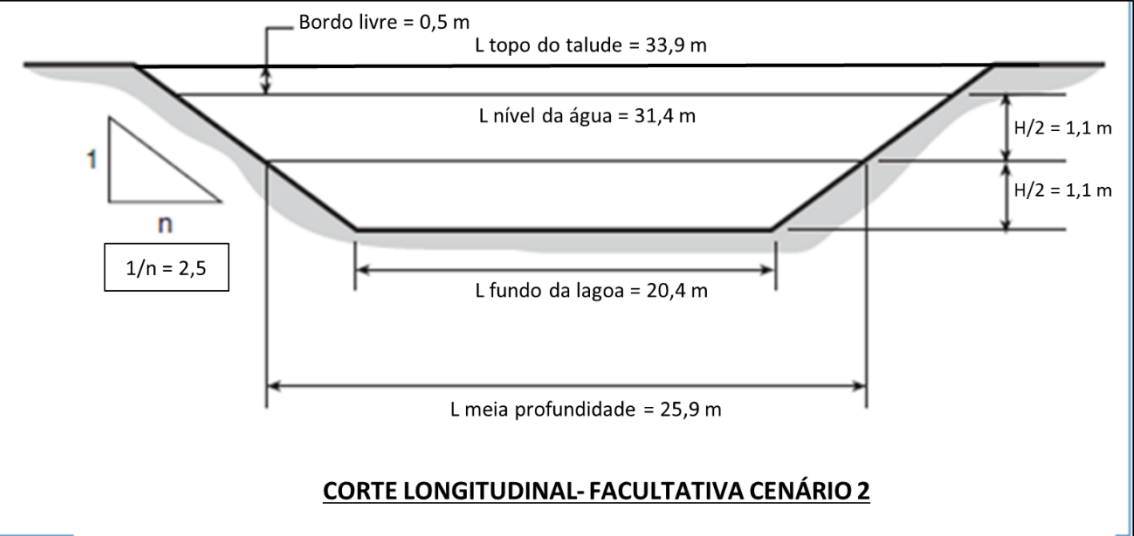
### 1. LAGOAS FACULTATIVAS

#### CENÁRIO 1



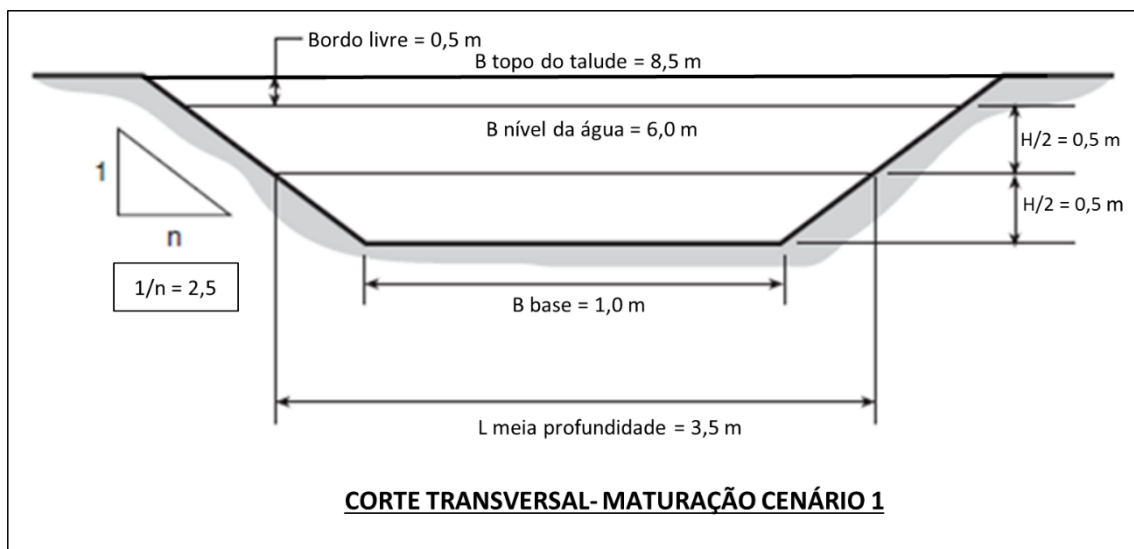
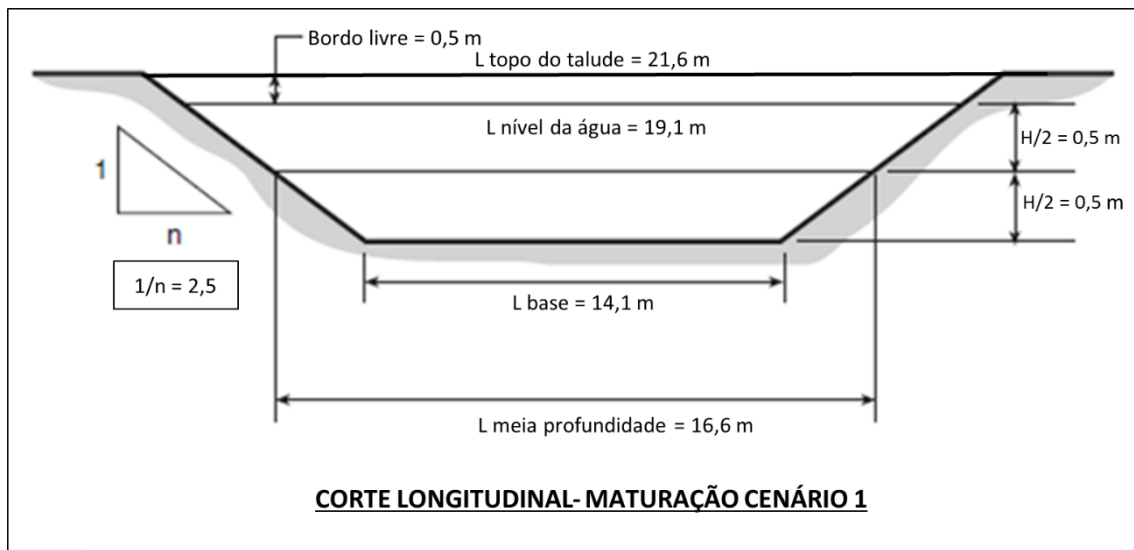


CENÁRIO 2

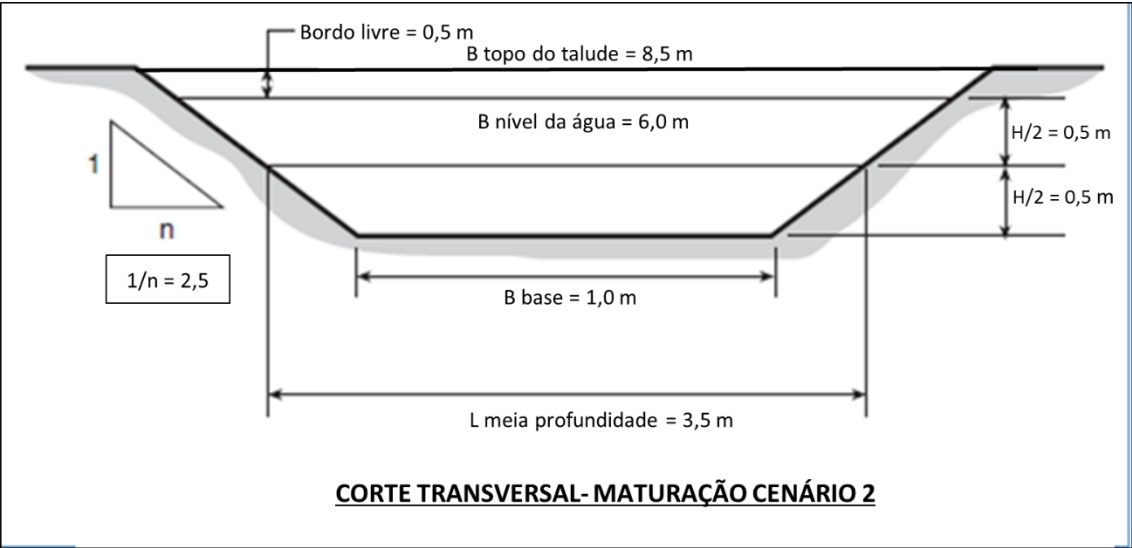
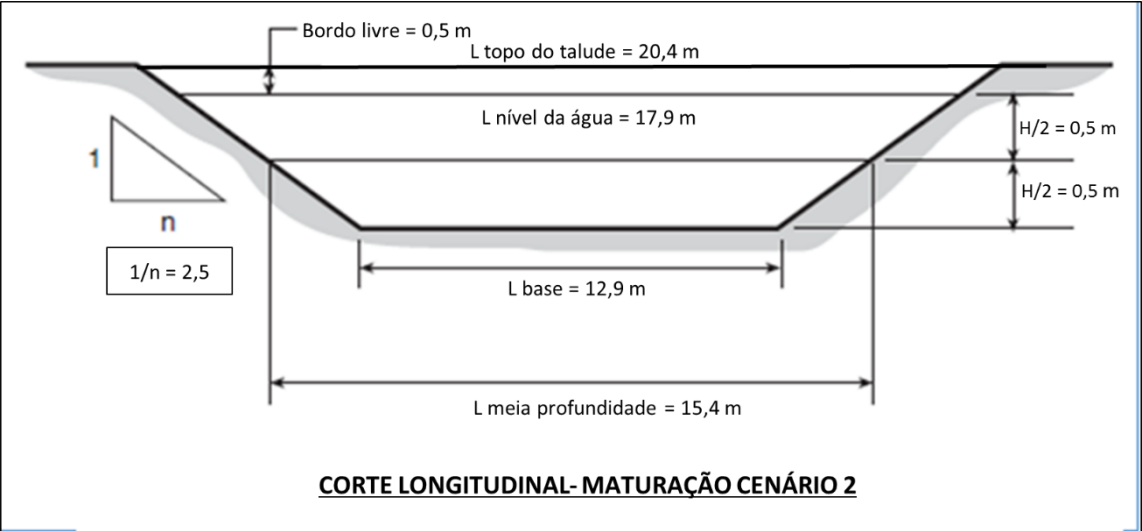


## 2. LAGOAS DE MATURAÇÃO

### CENÁRIO 1



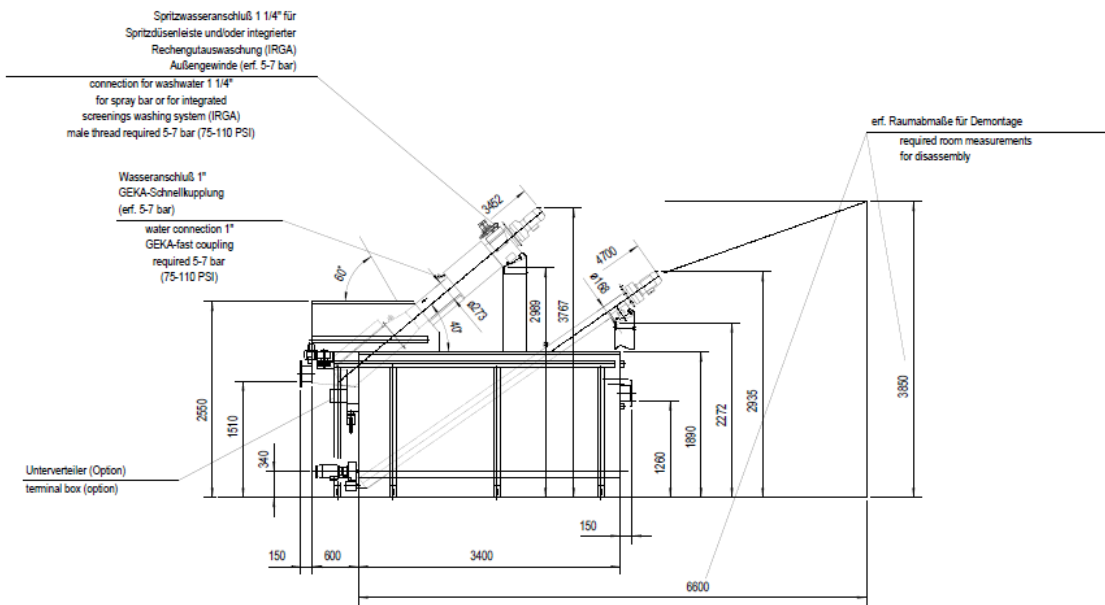
**CENÁRIO 2**



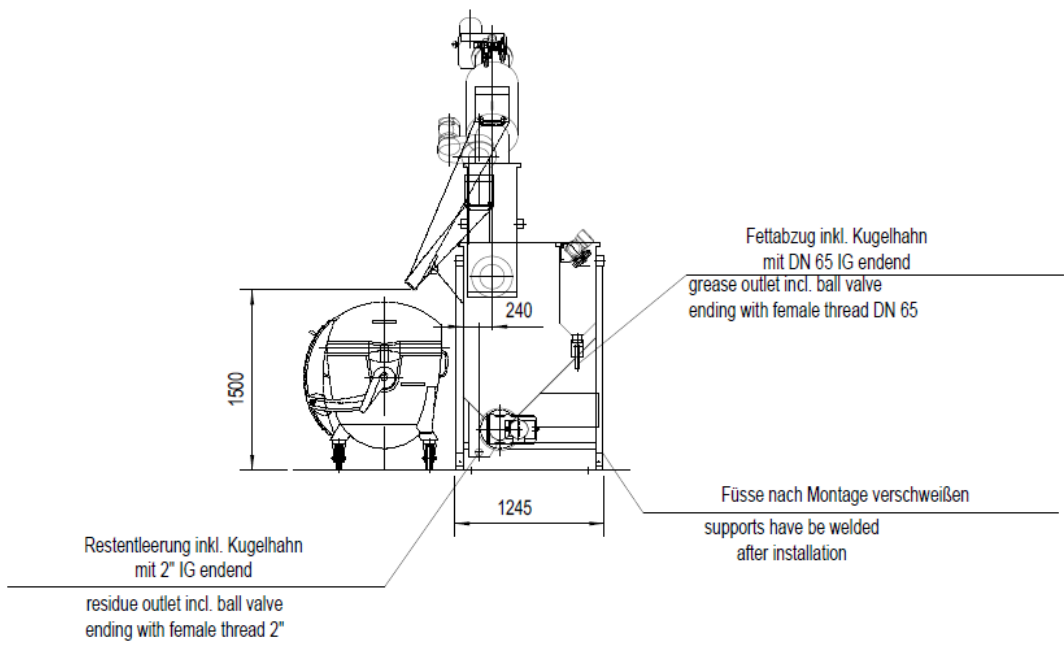
# ANEXO C – ESTIMATIVA DE CUSTOS

## 1. TRATAMENTO PRELIMINAR

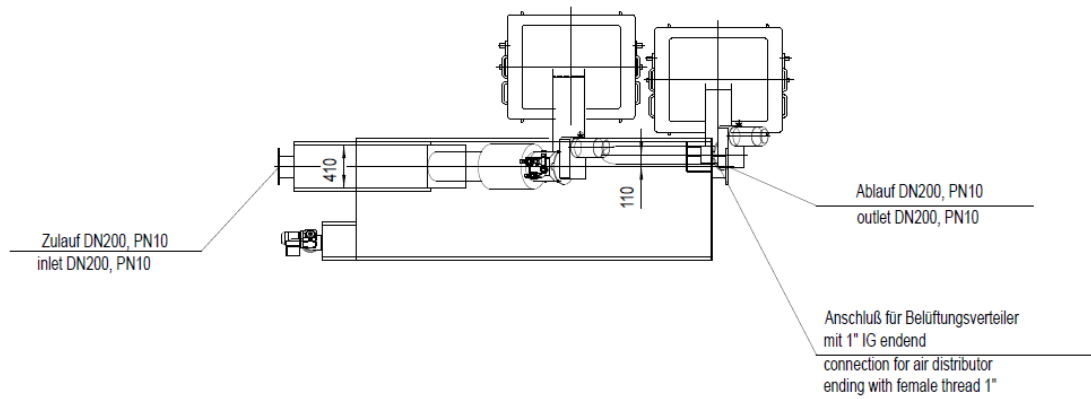
### VISTA FRONTAL



### VISTA LATERAL

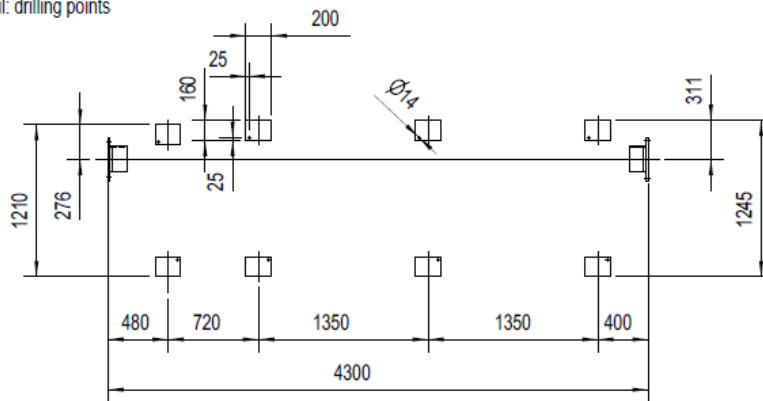


## VISTA SUPERIOR



## PLANTA E FICHA TÉCNICA

Detail: Bohrbild  
Detail: drilling points



Weiterführende Ablaufleitung  $\geq 4$  Promille

Additional drain pipe  $\geq 4$  per thousand

freier Ablauf des Behälters  
muss gewährleistet sein!


free drain of the tank  
must be guarantee!

Zusätzliche Lasten (z. B. durch Rohrleitungen, Bedienbühnen, ...) auf der Anlage sind nicht zulässig.

Additional loads (e. g. pipelines, service platforms, ...) on our plant are not allowed.

Unfallverhütung gem. GUV und Maschinenrichtlinien (Geländer, Wartungsbühnen, Eingriffschutz usw...) bzw. länderspezifischen Vorschriften bauseits beachten!

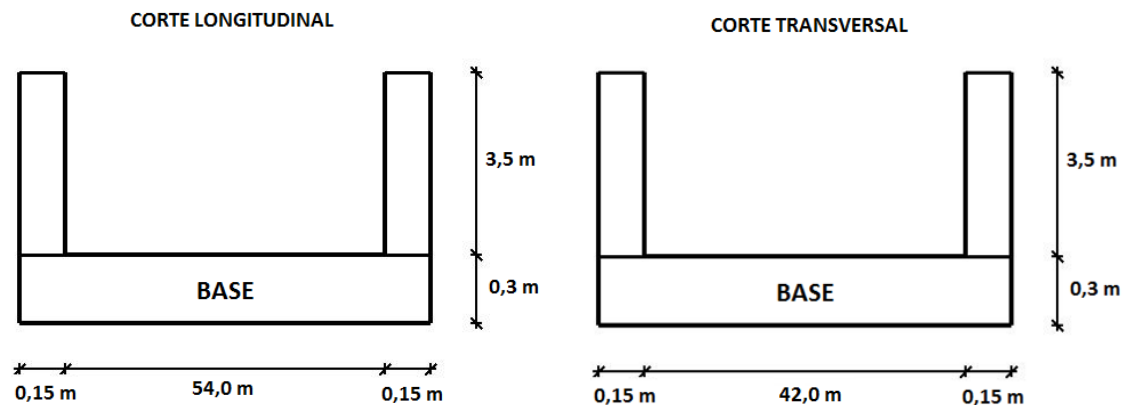
accident prevention acc. GUV and machine directives (railings, maintenance platforms, guards, etc...) Or country specific regulations on site!

Pos. Item	Menge Quantity	Bezeichnung Specification		Werkstoff/Lieferant Material/Supplier	Bemerkung Annotations	
Diese Zeichnung ist geistiges Eigentum der Fa. HUBER SE und damit urheberrechtlich geschützt. Zuwiderhandlungen verpflichten zum Schadensersatz. This is a copyrighted drawing which is the intellectual property of HUBER SE. Any contravening offender will be held liable for payment of damages.				<div>HUBER</div> <div>TECHNOLOGY</div> <div>WASTE WATER Solutions</div>		
Technische Änderungen vorbehalten / Subject to modification					ISO 2768-mk	D-92334 Berching / Tel.: 09462/201-0
				Stab/Rev.	Name	
				05.10.2011	bet	
				Gepr./Appr.	II	II
				Norm.		
b	Änd. 253	20.07.16	mt			
Revisi	Änderung Modified	Tag Date	Name	Massstab/Scale:	1:1	
Art.-Code project				Dimension Sheet	Nummer number	Blatt Sheet
Massblatt - Sheet of dimensions					010_000871	- / -

## 2. TANQUE ANAERÓBIO

### CÁLCULO DO VOLUME DA ESTRUTURA DE BETÃO

Para se proceder ao cálculo do volume de betão necessário para a estrutura de betão do tanque anaeróbio, elaboram-se as seguintes esquematizações:



Procedeu-se ao cálculo da área conjunta da base e paredes, segundo o corte longitudinal (comprimento):

CORTE LONGITUDINAL			
	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Base	54,3	0,3	16,3
Paredes (x2)	0,15	3,5	1,1
TOTAL			17,4

Multiplicando a área obtida pela largura do tanque com as paredes laterais incluídas, foi possível estimar o volume total de betão necessário para a construção do tanque anaeróbio, isto é:

$$\begin{aligned} \text{Volume da estrutura do tanque anaeróbio (m}^3\text{)} \\ = \text{Área corte longitudinal (m}^2\text{)} \times \text{largura do tanque com paredes (m)} \end{aligned}$$

$$\leftrightarrow \text{Volume da estrutura do tanque anaeróbio (m}^3\text{)} = 17,4 \times 42,3 \approx 736 \text{ m}^3$$

### 3. FILTROS ROCHOSOS

#### CÁLCULO DO VOLUME DE BRITA NECESSÁRIO

Procedeu-se ao cálculo do volume de brita necessário segundo a consideração de que o substrato filtrante utilizado nos filtros rochosos deve ultrapassar o nível da água residual na bacia de tratamento em pelo menos 10 cm, de modo a evitar a propagação de mosquitos e maus odores [17].

Obtida a área relativa aos filtros rochosos, aplicou-se um acréscimo de 10 cm à profundidade admitida para a água residual na unidade, sendo então possível calcular o volume necessário de substrato filtrante através de:

$$\begin{aligned} \text{Volume substrato filtrante (m}^3\text{)} \\ = \text{Área FR (m}^2\text{)} \times (\text{Profundidade útil FR (m)} + 0,1 \text{ m}) \end{aligned}$$

	Cenário 1	Cenário 2
Área FR (m <sup>2</sup> )	25,0	25,7
Profundidade útil FR + 0,1 m (m)	0,9	0,9
Volume substrato filtrante (m <sup>3</sup> )	≈ 23	≈ 23

